

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Vliv přenosových parametrů sestavené komunikace digitální
účastnické smyčky na kvalitu služby**

**Influence of digital subscriber line transfer parameters on the
quality of service**

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jakub Matějka

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601T013 Telekomunikační technika

Téma:

Vliv přenosových parametrů sestavené komunikace digitální účastnické
smyčky na kvalitu služby
Influence of digital subscriber line transfer parameters on the quality of
service

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je vytvořit analýzu a podrobně popsat závislost vybraných parametrů přenosového média na digitální účastnickou smyčku. Jedná se o posouzení negativních vlivů na kvalitu služby pro xDSL systémy se zaměřením na technologii VDSL. Součástí práce bude praktická realizace formou laboratorních měření. Výstup práce nabídne analytické zhodnocení naměřených dat pro jednotlivé varianty na sestavené komunikaci.

Osnova:

1. Přehled a základní vlastnosti technologií xDSL.
2. Popis definovaných vlivů na kvalitu služby.
3. Realizace praktických měření na xDSL lince.
4. Zpracování podrobných analýz a protokolů.

Seznam doporučené odborné literatury:

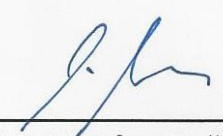
GOLDEN, Philip, DEDIEU, Hervé, JACOBSEN, Krista S. *Fundamentals Of DSL Technology*. New York>Auerbach Publication, 2006. ISBN 0-8493-1913-7

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Přemysl Mer, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 23. dubna 2017


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval p. Ing. Přemyslu Merovi, Ph.D za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této práce je zmapovat a během praktických měření v laboratoři ověřit závislost rušivých vlivů na kvalitu služby. Práce je zaměřena na studium závislosti délky přenosového média, vlivu přeslechů a šumu na technologii VDSL. V teoretické části jsou popsány jednotlivé standardy technologie xDSL a vlivy, které ovlivňují kvalitu služby na digitální účastnické smyčce. Další část teoretického oddílu je zaměřena pouze na popis technologie VDSL. K řešení dané problematiky je použit postup, při kterém jsou binární soubory o předem definovaných velikostech přenášeny na různou vzdálenost, a to při různých přenosových rychlostech. Dalším sledovaným parametrem je vliv přeslechů, který je zjišťován stejným způsobem jako předešlý vliv, avšak zde je sledován současný přenos více stanic najednou. Posledním sledovaným parametrem je závislost přenosové rychlosti na velikosti aditivního bílého šumu. Výsledkem je podrobná analýza a popis závislosti délky přenosového média, vlivu přeslechů a závislosti bílého aditivního šumu na kvalitě služby. Jednotlivé závěry jsou podloženy graficky a se slovním popisem dané situace. Stejným způsobem je v závěru práce popsán vliv přeslechů. Výsledky zjištění vycházejí z více než dvou tisíc zjištěných hodnot zaznamenaných během prováděných měření. Na základě zjištěných údajů z prováděných měření čtenář zjistí, jak značný vliv má délka přenosového média jak na kvalitu služby, tak i na přenosovou rychlost.

Klíčová slova

xDSL, VDSL, kvalita služby, rušivé vlivy, přeslechy, c-kermit, bílý aditivní šum

Abstract

The aim of this paper is to explore and during practical measurements in the laboratory to verify the dependence of interference on the quality of services. The work is focused on the study of the length dependence of transmission media, the influence of crosstalk and noise on VDSL technology. The theoretical part describes the various xDSL technology standards and factors that influence the quality of services on digital subscriber loop. Another part of the theoretical section is focused solely on the description of VDSL technology. For solving this issue a procedure is used, in which the binary file of the predefined sizes are transmitted at different distances, and at various transmission speed. Another monitored parameter is the influence of crosstalk, which is determined in the same manner as the previous effect, but there is monitored simultaneous transfer of multiple channels at once. The last parameter monitored is the dependence of transfer speed on the size of additive white noise. The result is a detailed analysis and description of the dependence of the transmission medium, the influence of crosstalk and white additive noise dependence on the quality of services. Individual findings are based on a graphic and verbal description of the situation. In the same way, the influence of crosstalk is described in the conclusion. The results of the findings are based on more than two thousand observed figures recorded during measurements. Based on the data of these measurements, the reader will find considerable influence the length of the transmission medium has both on the quality of services and the transmission speed.

Key words

xDSL, VDSL, service quality, interference, crosstalk, c-kermit, additive white noise

Obsah

Seznam použitých symbolů

Seznam použitých zkratek

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Úvod.....	- 1 -
1 Technologie xDSL	- 2 -
1.1 Základní dělení technologie xDSL.....	- 2 -
1.2 Přehled technologií xDSL	- 3 -
1.2.1 Technologie IDSL	- 3 -
1.2.2 Technologie HDSL.....	- 4 -
1.2.3 Technologie SDSL	- 4 -
1.2.4 Technologie ADSL, ADSL2, ADSL2+.....	- 5 -
1.2.5 Technologie VDSL, VDSL2	- 6 -
2 Technologie VDSL, VDSL2	- 7 -
2.1 Struktura VDSL	- 7 -
2.2 VDSL jako "první míle".....	- 8 -
2.3 Základní vlastnosti a modulace	- 9 -
2.3.1 Třídy provozu, přenosové rychlosti.....	- 10 -
2.4 Přenosový řetězec VDSL	- 11 -
2.5 Přenos dat.....	- 12 -
2.5.1 Přenosové módy	- 12 -
3 Popis definovaných vlivů na kvalitu služby.....	- 14 -
3.1 Vnější vlivy	- 14 -
3.1.1 Vysokofrekvenční rušení - rádiové rušení.....	- 14 -
3.1.2 Impulsní rušení	- 15 -
3.2 Vnitřní vlivy.....	- 15 -
3.2.1 Aditivní bílý šum.....	- 15 -
3.2.2 NEXT a FEXT přeslechy	- 16 -
3.3 Útlum vedení.....	- 18 -
3.3.1 Primární parametry vedení	- 18 -
3.3.2 Fyzikální jevy	- 19 -
4 Vliv délky vedení na kvalitu služby VDSL2 přípojky	- 21 -

4.1	Metodika prováděných měření vlivu délky vedení	- 21 -
4.2	Schéma měření a použité měřicí přístroje měření vlivu délky vedení	- 21 -
4.3	Nastavené parametry pro měření vlivu délky vedení.....	- 22 -
4.4	Postup měření vlivu délky vedení	- 22 -
4.5	Zjištění referenčních hodnot	- 24 -
4.6	Získání celkové vstupní závislosti vlivu délky vedení.....	- 25 -
4.7	Vliv délky účastnického vedení na přenosovou rychlost	- 28 -
5	Vliv přeslechů na digitální účastnickou smyčku	- 37 -
5.1	Metodika prováděných měření vlivu přeslechů	- 37 -
5.2	Schéma měření a použité měřicí přístroje pro měření vlivu přeslechů	- 37 -
5.3	Postup měření vlivu přeslechů	- 38 -
5.4	Vliv přeslechů na přenosovou rychlost	- 38 -
6	Vliv aditivního bílého šumu na digitální účastnickou smyčku	- 40 -
6.1	Metodika prováděných měření vlivu AWGN	- 40 -
6.2	Schéma měření a použité měřicí přístroje při měření vlivu AWGN	- 40 -
6.3	Nastavené parametry při měření vlivu AWGN.....	- 40 -
6.4	Postup měření vlivu AWGN	- 40 -
6.5	Získání referenčních hodnot pro měření vlivu AWGN.....	- 41 -
6.6	Vliv aditivního bílého šumu na přenosovou rychlost.....	- 41 -
	Závěr	- 45 -
	Použitá literatura	- 47 -
	Seznam příloh.....	- 48 -

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
α	dB/km	Měrný útlum
γ	-	Měrná míra přenosu
ω	rad/s	Úhlová frekvence
σ	-	Teplotní činitel
A	dB	Výsledný útlum
A_{fext}	dB	Útlum přeslechu na vzdáleném konci
A_{next}	dB	Útlum přeslechu na blízkém konci
BR_p	kbit/s	Přenosová rychlost
BR_s	c/s	Symbolová rychlost
C	F/km	Měrná kapacita
G	S/km	Měrný svod
l	km	Délka vedení
L	H/km	Měrná indukčnost
P_1	W	Výstupní výkon na rušícím páru
P_2	W	Výstupní výkon na rušeném páru
R	Ω /km	Měrný odpor
R_{20}	Ω	Stejnoseměrný odpor při teplotě 20 °C
R_u	Ω	Stejnoseměrný odpor při dané teplotě
u	°C	Teplota
Z_c	Ω	Charakteristická impedance

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
16-TCPAM	16 - Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation
2B1Q	2 Binary, 1 Quaternary
A/D	Analog/Digital
ADSL	Asymetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BR	Bit Rate
BTS	Base Transceiver Station
CAP	Carrierless Amplitude and Phase
CPE	Customer Premises Equipment
CRC	Cyclic Redundancy Check
DMT	Discrete Multi Tone
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
EC	Echo Cancelation
EMC	Electromagnetic Compatibility
EOC	Operations Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FEC	Forward Error Correction
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTE	Fiber To The Exchange
FTTH	Fiber To The Home
FTTN	Fiber To The Node
FTTx	Fiber To The x
HDSL	High-bit-rate Digital Subscriber Line
ISDL	ISDN Digital Subscriber Line
IP	Internet Protocol

IP-HDLC	Internet Protocol-High level Data Link Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISDN-BRA	Integrated Services Digital Network - Basic Rate Access
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication
LAM	Local Area Network
MCM	Multi Carrier Modulation
ONU	Optical Network Unit
PC	Personal Computer
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
POTS	Plain Old Telephone Services
PSD	Power Spectral Density
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTM	Point To Multipoint
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RFI	Radio Frequency Interference
SCM	Single Carrier Modulation
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line
SHDSL	Single pair High bit rate Digital Subscriber Line
STM	Synchronous Transport Module
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TC-PAM	Trellis Coded - Pulse Amplitude Modulation
TDM	Time Division Multiplexing
UTP	Unshielded Twisted Pair
VDSL	Very high-bit-rate Digital Subscriber Line
VoD	Video on Demand
VTU-C	VDSL Termination Unit - Central
VTU-R	VDSL Termination Unit - Remote
xDSL	x Digital Subscriber Line

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
1.1	Architektura technologie HDSL	4
1.2	Architektura technologie ADSL	5
1.3	Rozdělení frekvenčního spektra ADSL	6
2.1	Struktura technologie VDSL	7
2.2	Architektura VDSL ve spojení s optickou sítí	8
2.3	Frekvenční spektrum jednotlivých VDSL variant v souvislosti s ADSL	9
2.4	Schéma zapojení přenosového řetězce přípojky VDSL2	11
3.1	Přehled rušivých vlivů	14
3.2	Přeslechy typu NEXT a FEXT působící mezi páry stejného kabelu	16
3.3	Povrchový jev	19
3.4	Jev blízkosti	20
4.1	Schéma zapojení měřicího pracoviště	21
4.2	Schéma měřicího pracoviště při použití simulátoru vedení	22
4.3	Výpis konfigurace pracovních stanic	23
4.4	Výpis konfigurace DSLAMu - webové rozhraní	24
4.5	Příklad přenosových parametrů modemu - připojení telnet	25
4.6	Příklad přenosu souboru - program c-kermit	26
4.7	Příklad statistiky přenosu dat - program c-kermit	26
4.8	Vliv délky účastnického vedení na jednotlivé přenosové rychlosti - upstream	27
4.9	Vliv délky účastnického vedení na jednotlivé přenosové rychlosti - downstream	27
4.10	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 512 kbit/s - upstream	28
4.11	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 512 kbit/s - downstream	29
4.12	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 2000 kbit/s - upstream	29

4.13	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 2000 kbit/s - downstream	30
4.14	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 16384 kbit/s - upstream	30
4.15	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 16384 kbit/s - downstream	31
4.16	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 24000 kbit/s - upstream	32
4.17	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 24000 kbit/s - downstream	32
4.18	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 32000 kbit/s - upstream	33
4.19	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 32000 kbit/s - downstream	33
4.20	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 45440 kbit/s - upstream	34
4.21	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 60000 kbit/s - downstream	35
4.22	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 45440 kbit/s - upstream	35
4.23	Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 80000 kbit/s - downstream	36
5.1	Schéma zapojení pro testování vlivu přeslechů	37
5.2	Graf závislosti přeslechů na počtu současně komunikujících stanic - upstream	38
5.3	Graf závislosti přeslechů na počtu současně komunikujících stanic - downstream	39
6.1	Schéma zapojení pro zjišťování projevů bílého aditivního šumu	40
6.2	Závislost přenosové rychlosti 24000 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr - upstream	41
6.3	Závislost přenosové rychlosti 24000 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr - downstream	42
6.4	Závislost přenosové rychlosti 32000 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr - upstream	42
6.5	Závislost přenosové rychlosti 32000 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr - downstream	43

6.6	Závislost přenosové rychlosti 45440 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr - upstream	44
6.7	Závislost přenosové rychlosti 45440 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr - downstream	44

Číslo tabulky	Název tabulky	Číslo stránky
1.1	Přehled systémů technologie xDSL	3
2.1	Pásma použita u jednotlivých variant VDSL	10
2.2	Typické přenosové rychlosti VDSL	11

Úvod

Dnešní uspěchaná doba vyžadující neustálý vysokorychlostní přístup k datovým službám si klade velké nároky na technické znalosti uživatele jako takového. Připojení k internetu je využíváno jak pro pracovní, tak soukromé účely. Technologií dneška se stávají čím dál více optické sítě, ke kterým se však většina příměstských a venkovských uživatelů často nedostane. Musí se tedy spokojit buď s technologií ADSL, která je schopna své služby poskytovat na delší vzdálenost za cenu nižších přenosových rychlostí, anebo využijí připojení za pomoci technologie VDSL. Ta může být provozována v koexistenci s optickými spoji a tak umožňuje koncovému zákazníkovi využít takřka přenosových rychlostí optických tras, ale za to s razantním poklesem přenosových rychlostí vlivem délky přenosové trasy.

Cílem této práce je posouzení rušivých vlivů na kvalitu digitální účastnické smyčky. Tato diplomová práce volně navazuje na diplomovou práci zpracovávanou v roce 2014 panem Ing. Lukášem Hefkou. Autor se ve své práci zabývá vlivem rušení na digitální účastnickou smyčku a podrobně popisuje danou problematiku u technologie ADSL. Stěžejní částí práce je provedení série měření, které mají za cíl zmapovat vliv délky přenosového média na přenosovou rychlost, a také analyzuje působení jednotlivých druhů šumu na kvalitu služby. Vzhledem k tomuto faktu je tato diplomová práce svým zaměřením totožná, avšak použité postupy a východiska aplikuje na technologii VDSL, která je v dnešní době hlavním konkurentem technologie ADSL co se týče metalických, popřípadě hybridních vedení v kombinaci s optickými. Vzhledem k výše uvedenému je technologii VDSL věnována celá kapitola v teoretické části a veškerá prováděná měření jsou právě na technologii VDSL.

V úvodní kapitole se čtenář dočte všechny základní specifika technologií xDSL. Je zde popsáno základní dělení technologie, maximální přenosové rychlosti, použité modulace a jednotlivé maximální dosahy daných technologií. Jmenovitě jsou zde popsány technologie IDSL, HDSL, SDSL, ADSL a částečně i VDSL. Této technologii je věnována celá následující kapitola, kde je rozebrána samotná struktura VDSL, použití VDSL jako první míle (FTTx), vlastnosti a použité modulace, přenosový řetězec a jednotlivé přenosové módy. V závěru teoretické části jsou popsány jednotlivé rušivé vlivy působící na přenosové médium, ať už se jedná o vlivy vnitřní či vnější, přeslechy anebo útlum samotný.

Poslední kapitola této práce se věnuje samotným praktickým měřením, které probíhaly v rámci školního vybavení. Při těchto měřeních byla zkoumána závislost vlivu rušení na digitální účastnickou smyčku. Tato závislost byla zkoumána ze dvou pohledů. První z nich byl parametr délky vedení, který měl hlavní vliv na dostupnost a přenosovou rychlost celého systému. Druhým parametrem zkoumaným v těchto měřeních byl účinek přeslechů a vliv aditivního bílého šumu na vedení, který se také projevoval poklesem přenosových rychlostí. V této kapitole se čtenář dočte o použitém postupu jednotlivých měření, jednotlivých schématech zapojení, použitém vybavení a o zjištěných referenčních hodnotách. To umožňuje čtenáři postup práce lépe pochopit a také mu dává možnost reprodukce měření při jeho vlastní práci.

1 Technologie xDSL

Jedná se o digitální přenosové systémy nasazované na účastnické přípojné vedení, které se vyznačují poměrně vysokými přenosovými rychlostmi (až desítky Mbit/s). První systém této technologie, a sice systém HDSL byl standardizován v 80. letech, kdy měl sloužit jako náhrada systému ISDN a zároveň využít stávajících již vybudovaných účastnických vedení. Důvodem pro zavedení nové technologie byla potřeba, která vyvstala s rozvojem internetu a následnou poptávkou zákazníků po multimediálních službách a vyšších přenosových rychlostech. Hlavní výhodou této technologie byla možnost využití stávajícího účastnického vedení jak pro technologii analogové pevné linky, tak pro DSL připojení k internetu. V průběhu času docházelo k různým vylepšením a standardizacím dalších technologií rodiny DSL. Ať už se jednalo o změnu symetrie, či asymetrie přenosových rychlostí, nebo o využívanou šířku pásma. V následující kapitole si jednotlivé DSL technologie vyjmenujeme a stručně popíšeme. [2]

1.1 Základní dělení technologie xDSL

Technologie xDSL je vystavěna na základech technologie ISDN, kde hlavním rozdílem mezi těmito technologiemi je jejich způsob přenosu dat od uživatele k samotnému poskytovateli těchto služeb.

Základním parametrem pro rozdělení digitálních účastnických přípojek je jejich symetrie přenosových rychlostí. Jedná se o přenosové rychlosti ve dvou směrech, a to: upstream a downstream.

- Symetrické přípojky - shoda přenosových rychlostí ve směru upstream a downstream
 - DSL (Digital Subscriber Line)
 - IDSL (Integrated Digital Subscriber Line)
 - HDSL (High bit rate Digital Subscriber Line)
 - SDSL (Symmetrical Digital Subscriber Line)
 - SHDSL (Single pair Digital Subscriber Line)
 - VDSL (Very high bit rate Digital Subscriber Line)
- Asymetrické přípojky - různost rychlostí ve směru upstream a downstream
 - ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)
 - VDSL (Very high bit rate Digital Subscriber Line)

Dalším parametrem, kterým jsme schopni popsat jednotlivé typy přípojek je metoda přenosu, čili použité přenosové pásmo.

- přenos v základním pásmu (HDSL, SHDSL)
- přenos v přeloženém pásmu (ADSL, VDSL)

Technologie využívající pro svůj přenos základní pásmo, a tedy pásmo 300-3400 Hz, využívají pásmo sloužící běžně pro přenos analogové telefonní přípojky. Proto není možné využívat služeb DSL přípojky a zároveň analogovou telefonní přípojku. Oproti tomu v případě technologií využívajících přeložené pásmo je situace odlišná. Tyto systémy mohou zároveň koexistovat na

jednom přípojném vedení a to díky posunutí přenosového pásma nad hovorové pásmo. Nyní může uživatel využívat zároveň služeb DSL a analogové telefonní linky.

1.2 Přehled technologií xDSL

V této kapitole si podrobněji popíšeme jednotlivé zástupce technologie xDSL. U každé z nich si řekneme její specifika a současný stav použití.

Nyní si uvedeme přehledovou tabulku, viz tab. 1.1, ve které jsou uvedeny doporučení dle ITU-T, použité typy modulací, maximální přenosové rychlosti, a to: jak pro upload, tak i pro download, dále pak metodu duplexního přenosu a v neposlední řadě i maximální dosah dané technologie.

Tabulka 1.1: *Přehled systémů technologie xDSL*

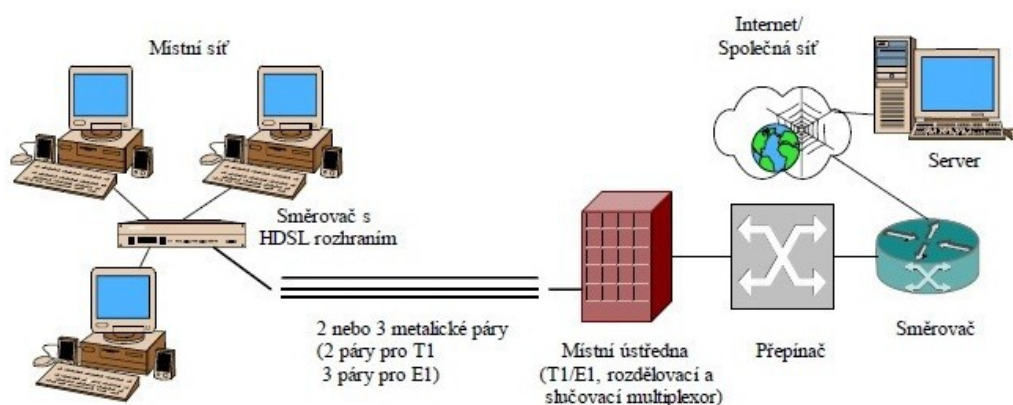
Označení	Doporučení ITU-T	Upload [Mbit/s]	Download [Mbit/s]	Linkový kód/modulace	Metoda duplexního přenosu	Dosah [km]
IDSL	-	0,128	0,128	2B1Q	EC	cca 6
HDSL	G.991.1	2	2	2B1Q/CAP	EC	3
SDSL	-	až 2,3	až 2,3	2B1Q	EC	2 až 5
SHDSL	G.991.2	až 2,3	až 2,3	16-TCPAM	EC	2 až 7
ADSL	G.992.2	až 1,5	až 0,5	DMT	FDD, EC	2 až 5
ADSL 2	G.992.3	až 2	až 12	DMT	FDD, EC	cca 8
ADSL 2+	G.992.5	až 1,4	až 24	DMT	FDD, EC	cca 3
VDSL symet.	G.993.1	až 6,4	až 52	DMT QAM	FDD	0,3 až 1,5
VDSL asymet.	G.993.1	až 26	až 26	DMT QAM	FDD	0,3 až 1,5
VDSL 2	G.993.2	až 100	až 100	DMT	FDD	0,3 až 5

1.2.1 Technologie IDSL

Nejstarší zástupce výše zmiňované technologie xDSL. Někdy bývá také označována jako DSL. Vychází z technologie ISDN, kde je fyzický přenos informací uskutečňován za pomoci základní ISDN - BRA přípojky, zde pak vzniká následně pojem IDSL (ISDN DSL). Ta nabízí dva nezávislé kanály s rychlostí 2x64 kbit/s a jeden signalizační kanál s rychlostí 16 kbit/s. Tyto přenosové rychlosti jsou pevně dány a není možno je nijak měnit. Výsledná přenosová rychlost pak činí 144 kbit/s. Tato technologie umožňuje přenos na vzdálenost až 12 km, avšak použitím linkového kódu 2B1Q v základním pásmu a oddělení kanálů EC má za důsledek, že ji nelze využít pro současný přenos s analogovým telefonním signálem. V současné době již tato technologie nenachází větší uplatnění, neboť byla nahrazena svými modernějšími zástupci, kteří dosahují daleko lepších přenosových parametrů.

1.2.2 Technologie HDSL

Hlavním znakem této technologie je symetrie přenosových rychlostí a přenos v základním pásmu. Výsledná přenosová rychlost je 2048 kbit/s, pro oba směry a do maximální vzdálenosti 3,6 km. Přenosová rychlost je odvozena od E1, tedy systému PDH prvního řádu. Zvětšení dosahu až na 20 km lze docílit použitím opakovačů. Systémy HDSL využívají pro svůj přenos metalická vedení, konkrétně buď jeden, dva anebo tři páry vedení viz obr. 1.1. Kódování je zde řešeno za pomoci linkového kódu 2B1Q a obousměrný přenos je možné realizovat použitím metody potlačení ozvěn EC. Použití kódování zapříčiňuje, že na stejném vedení není možné využívat zároveň jak ISDN služby, tak telefonní frekvenční pásmo.[4]



Obrázek 1.1: *Architektura technologie HDSL*

Jak již bylo zmíněno výše, pro samotný přenos je možno využít více párů vedení. Konkrétně jeden až tři. To má za následek, že v případě použití více párů dojde k rozdělení přenosové rychlosti mezi jednotlivé páry. V praxi našla tato technologie své uplatnění při připojování pobočkových ústředěn, či spojení základnových stanic BTS. Dnes se již moc nepoužívá a její hlavní nevýhodou byla nutnost použití více páru vedení.

K odstranění této nevýhody došlo až u systému HDSL2, který dosahuje stejných přenosových rychlostí jako HDSL, avšak používá pulsně amplitudovou modulaci s trellis kódováním TC-PAM.

1.2.3 Technologie SDSL

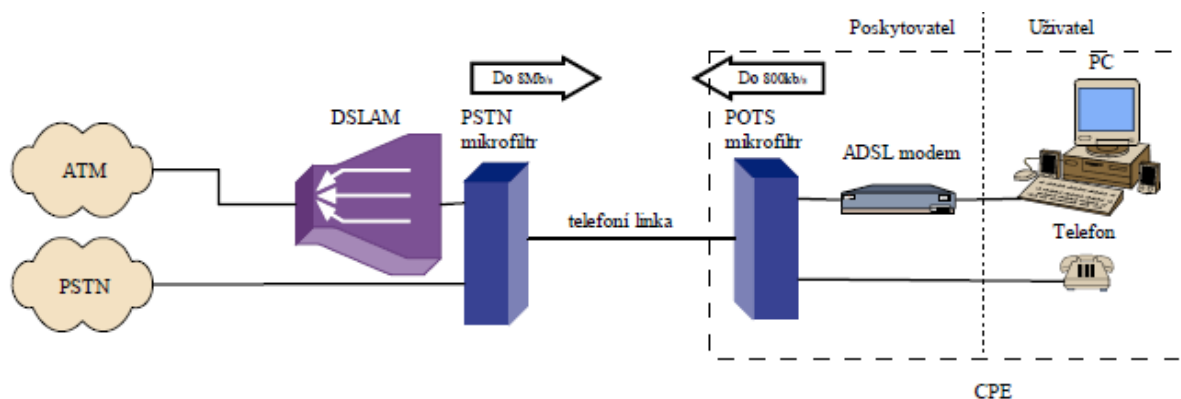
Technologie SDSL je dalším vývojovým zástupcem technologie xDSL. Tento systém umožňuje změnu nastavení přenosové rychlosti automaticky či manuálně, a to v rozmezí od 192 kbit/s až do 2312 kbit/s, a to s maximálním dosahem 6 km. Toto nastavení je prováděno v závislosti na vytížení vedení. Pro multiplexaci je zde použita metoda časového dělení kanálů TDM, ale může být využito i asynchronního přenosového módu ATM či TCP/IP. Výsledkem použití těchto kódování je možnost přenosu úzkopásmových kanálů TDM a datových ATM kanálů. Důvodem proč se tento systém nedočkal větší míry nasazení do provozu je fakt, že každý výrobce zařízení vyvíjí svůj vlastní systém, který pak v důsledku není mnohdy kompatibilní se systémy od jiných výrobců.

Spojením výhod HDSL a SDSL vznikl nový standard, který se nazývá SHDSL. Tento systém využívá pro svůj přenos jednopárové symetrické vedení, přičemž přenos je plně duplexní s využitím

šestnácti stavové pulsně amplitudové modulace s Trellis kódováním (16-TCPAM). Rychlosti, kterých systém dosahuje, jsou od 192 kbit/s do 2312 kbit/s. Existuje i varianta, dle doporučení ITU-T 991.2, která uvádí, že pro přenos může být využito i dvou párů vedení zároveň. V případě tohoto standardu jsou pak přenosové rychlosti dvojnásobné, a to od 384 kbit/s do 4624 kbit/s. Tato technologie našla své uplatnění při připojení domácností či malých firem požadujících symetrii přenosových rychlostí.

1.2.4 Technologie ADSL, ADSL2, ADSL2+

Jedná se v dnešní době o jednu z nejrozšířenějších technologií sloužící k připojení k internetu. V době svého vzniku, počátkem 90. let, byla tato technologie určena pro přenos služby VoD. V dnešní době je využívána hlavně jako metoda přístupu na internet, kde jako všechny DSL standardy využívá stávající metalické symetrické vedení (páry), které jsou nainstalované v přístupových sítích, viz obr. 1.2. Jak již název napovídá Asymmetric DSL, tak tento systém pracuje s asymetrií přenosových rychlostí, což má pro zákazníka za následek, že ve směru download je schopen získat přenosovou rychlost až 8 Mbit/s a ve směru upload až 1 Mbit/s. Maximální vzdálenost, na kterou je tento systém schopen fungovat, je 5,5 km.



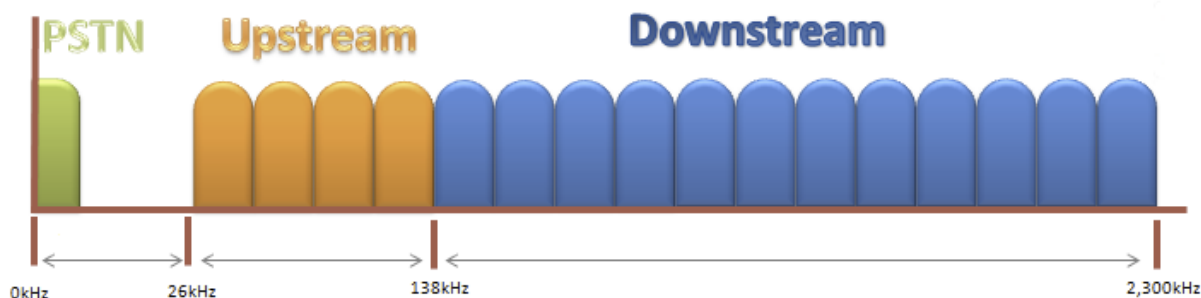
Obrázek 1.2: *Architektura technologie ADSL*

Využití přeloženého pásma umožňuje ADSL koexistenci s telefonní přípojkou POST, nebo základní přípojkou ISDN-BRA. Kmitočtové oddělení jednotlivých přenosových pásem je realizováno za pomoci splitteru. Jedná se o rozbočovač použitý na obou stranách vedení. Tento rozbočovač je realizován jako horní a dolní pásmová propust. Ta rozdělí frekvenční pásmo na jedno pásmo hovorové, tj. do 3400 Hz, a druhé pásmo pro přenos digitálního signálu. Splitter na straně ústředny je většinou realizován jako součást přístupového koncentrátoru DSLAM.[10]

Přípojka ADSL se v praxi vyskytuje v několika různých modifikacích a dle vlastností vedení, na kterém je provozována, může dosahovat různých parametrů. Během standardizace se rozhodovalo, která modulační metoda bude použita. Nakonec zvítězila dle doporučení ITU-T G. 992 modulace DMT. Výsledkem je, že celý přenosový kanál ve frekvenční oblasti je rozdělen do posloupnosti subkanálů. V každém ze subkanálů je následně použita kvadrurní amplitudová modulace QAM.

Na níže uvedeném obrázku 1.3 je vyobrazeno, jak je rozděleno frekvenční spektrum ADSL za pomoci DMT modulace na jednotlivé subkanály, a to od 0 do 255. Šířka těchto subkanálů je následně 4,31225 kHz, přičemž telefonní kanály jsou přenášeny ve spodní části frekvenčního pásma.

1.2.4.1 Přenosové kanály



Obrázek 1.3: Rozdělení frekvenčního spektra ADSL

K zajištění obousměrného datového přenosu po dvoudrátovém vedení využívá ADSL dva způsoby dělení. Prvním z nich je metoda FDD, která přidělí všem kanálům své vlastní frekvenční pásma. V praxi se využívá při současném provozu s POTS pásmo pro upload 34,5 - 138 kHz a pro download 142 - 1000 kHz. Výhoda této metody je její snadná implementace do systému a nižší cena v porovnání s EC. Nevýhoda této metody spočívá ve špatném využití frekvenčních pásem. Druhým způsobem jak rozdělit frekvenční pásmo je metoda EC. [3]

1.2.5 Technologie VDSL, VDSL2

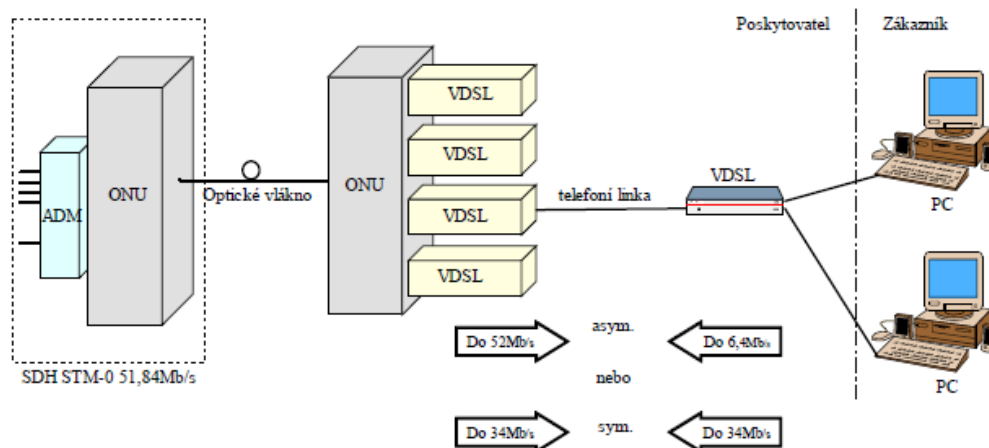
Jedná se nejnovější technologie rodiny xDSL. Tyto technologie jsou schopny poskytovat nejvyšší přenosové rychlosti ze všech standardů a pracují v přeloženém frekvenčním pásmu. Samotný přenos je možné realizovat jak v symetrickém, tak i asymetrickém režimu. V symetrickém režimu je systém schopen dosahovat maximálních přenosových rychlostí až 26 Mbit/s pro oba směry přenosu. Oproti tomu v asymetrickém režimu je systém schopen dosáhnout přenosové rychlosti ve směru downstream až 52 Mbit/s a ve směru upstream až 6,4 Mbit/s. Možnost volby režimu přenosových rychlostí předurčuje tuto technologii pro použití jak u domácností, tak u firem. Této technologii je v této práci věnovaná samostatná kapitola, kde jsou rozebrány jednotlivá specifika technologie VDSL a VDSL2 podrobněji.

2 Technologie VDSL, VDSL2

Cílem této kapitoly je podrobnější popis technologie VDSL, na kterou je tato práce zaměřena. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, tak technologie VDSL a její pozdější modifikace VDSL2 tvoří v dnešní době prim co se xDSL technologií týče. Tato technologie našla své uplatnění ať už jako primární přístupová metoda či technologie první míle, která je využívána ve spojitosti s technologií optických sítí. Jedná se o jednotlivé klony technologie FTTx, které předurčují, jakou část sítě bude tvořit optická přípojka a jakou přípojka VDSL.

Technologie VDSL dokáže pracovat se symetrickými i asymetrickými přenosovými rychlostmi. V symetrickém režimu je přenosová rychlost až 26 Mbit/s. Oproti tomu asymetrický režim umožňuje přenosové rychlosti od poskytovatele až 52 Mbit/s a k poskytovateli až 6,4 Mbit/s. Tyto přenosové rychlosti jsou však, tak jako u ADSL, závislé na mnoha faktorech, které je ovlivňují (např. délka vedení). Vyšších přenosových rychlostí je docíleno rozšířením frekvenčního pásma až k 30 MHz. To má však za následek snížení maximálního dosahu na 1,6 km.[1]

2.1 Struktura VDSL

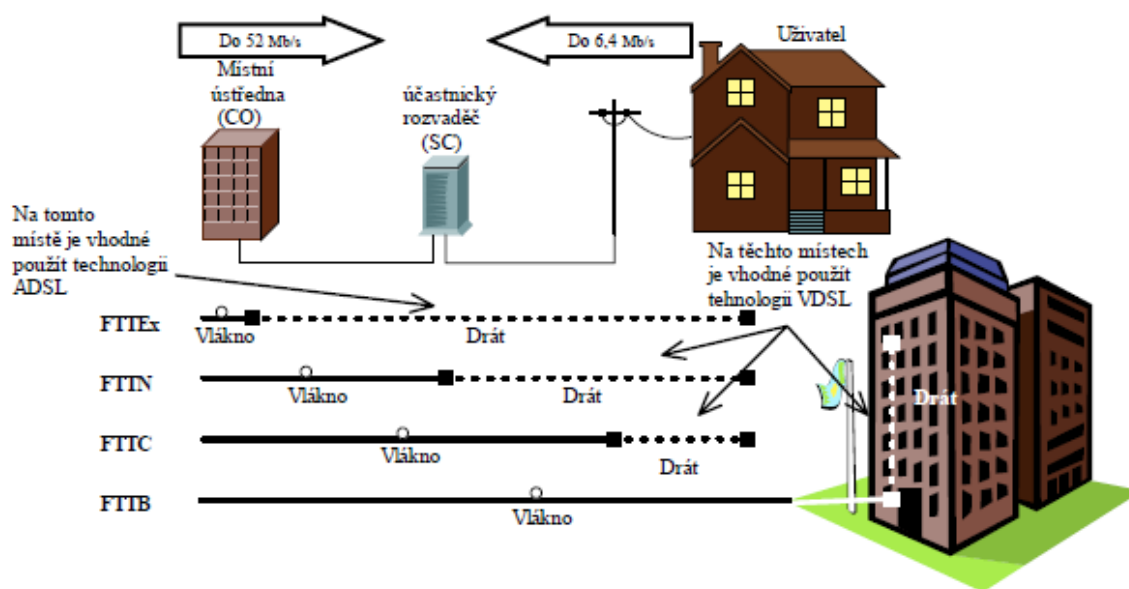


Obrázek 2.1: Struktura technologie VDSL

Ze strany přístupové sítě se při návrhu VDSL přípojky většinou počítá s faktem, že na jedno vedení bude připojeno více účastníků najednou, viz obr. 2.1. To lze realizovat, buď aktivním ukončením sítě, nebo pasivním ukončením sítě. Nyní si popíšeme oba způsoby. Aktivním ukončením sítě rozumíme umístění pouze jednoho VDSL modemu na konec vedení, na který je připojeno zařízení jako switch nebo hub a následně jednotliví účastníci. Opakem tohoto způsobu je pasivní ukončení sítě, kde je každá koncová stanice připojena na vedení pomocí svého vlastního modemu. Následný přístup k přenosovému médiumu je pak řešen většinou deterministicky anebo rozdělením frekvenčního pásma (upstream) na jednotlivá subpásma a ty jsou následně přidělovány koncovým stanicím dynamicky anebo staticky.

V rámci vlastního přenosu systém využívá přenos v synchronním transportním módu STM a ATM. VDSL, tak jako ADSL, má v každém směru přenosu k dispozici dva kanály, které využívají chybovou korekci. Vlivem menší dosažitelné vzdálenosti nachází systémy VDSL své uplatnění zejména v sítích LAN a hybridních sítích typu FTTx, kde zajišťují první úsek přenosu k uživateli.

2.2 VDSL jako "první míle"



Obrázek 2.2: Architektura VDSL ve spojení s optickou sítí

Jak již bylo zmíněno výše, tak technologie VDSL nalézá své největší uplatnění ve spojitosti s technologií optických sítí, viz obr. 2.2. V rámci architektury, viz obr. 2.1, se předpokládá umístění optické síťové jednotky (ONU) v blízkosti uživatele. Metalické páry, které vycházejí z jednotky ONU, zajišťují přenos signálu na kratší vzdálenosti až do domácnosti. Na obrázku výše můžeme vidět umístění jednotky ONU v různých vzdálenostech od jednotlivých uživatelů. Tato jednotlivá umístění jsou popsána obecnou zkratkou FTTx (Fibre To The x). Jednotlivé mutace si nyní popíšeme:[5]

- FTTEx (Fibre To The Exchange) - optické vlákno zakončené v ústředně (Central Office). Odtud je následný přenos uskutečňován pomocí technologie ADSL. Ta je zvolena vlivem velké vzdálenosti účastníka od ústředny a tedy není možné využít technologii VDSL.
- FTTN (Fibre To The Node) - přivedení optického vlákna do venkovního rozvaděče, od kterého je signál následně rozveden po metalických párech až k účastníkovi. V tomto rozvaděči je typicky 200 - 300 účastníků, čímž tvoří funkci kabelového rozvztlavače. Na těchto účastnických párech je pak vhodné nasadit technologii VDSL, přičemž tento model vykazuje velmi dobrý poměr nákladů a užitné hodnoty. S tímto modelem se nejvíce setkáme při realizaci širokopásmových sítí.
- FTTC (Fibre To The Curb) - v tomto případě nalezneme ukončení optického vlákna ve venkovním rozvaděči, který je umístěn "u chodníku". Jedná se o modifikaci

FTTN s tím rozdílem, že vzdálenost k účastníkovi je menší a umožňuje v tomto případě připojení 10 - 20 účastníků připojených na kabelovou odbočku umístěnou na okraji cesty (chodníku).

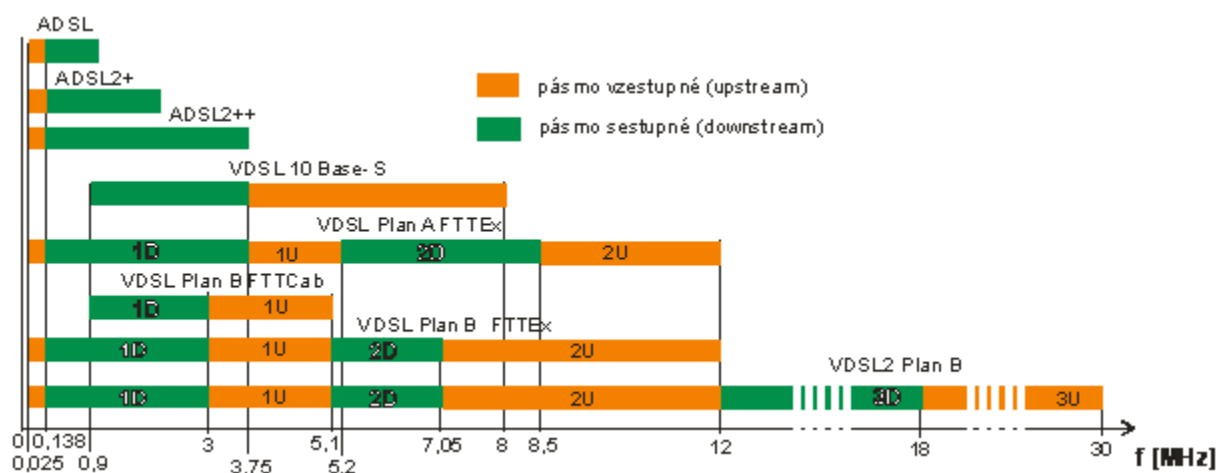
- FTTB (Fibre To The Building) - optické vlákno zakončené v budově. Většinou se jedná o suterén budovy, odkud je následný přenos dat pomocí kroucených párů anebo koaxiálního kabelu. Pro rozvod uvnitř budov je většinou využíváno VDSL. Hlavním sektorem, kde se můžeme s tímto typem přípojky setkat, jsou bytové domy a velké společnosti.
- FTTH (Fibre To The Home) - jak již samotný název Home napovídá, bude se jednat o přivedení optického vlákna až do domácnosti. Toto řešení má dvě svá nej, je to: nejlepší a nejdražší typ přístupové technologie.

2.3 Základní vlastnosti a modulace

Přípojka VDSL je založena na stejném principu jako ADSL, tedy využívá stávajících metalických párů a současně koexistence s POTS (ISDN-BRA). K tomu využívá stejného uspořádání jako ADSL a sice oddělení přenosových pásem za pomoci splitteru. Vyšších přenosových rychlostí je systém VDSL schopen dosáhnout rozšířením frekvenčního pásma až do 30 MHz. To má však za následek snížení maximálního použitelného dosahu (maximálně 1,6 km).

Pro oddělení přenosových směrů využívá VDSL metodu frekvenčního dělení FDD. Přípojka VDSL je standardizovaná v doporučení ITU-T G. 993.1, které připouští dvě vzájemně nekompatibilní metody modulace:

- MCM (Multi-Carrier Modulation) - modulace s více nosnými (DMT), standardizovaná a použitá u ADSL. U VDSL využívá DMT stejnou šířku pásma jako ADSL, tedy 4,3125 kHz, ale jejich počet je mnohem větší (až 4096). Modulační rychlost 4 kBd.
- SCM (Single-Carrier Modulation) - modulace s jednou nosnou (QAM, CAP). Modulační rychlost je vypočtena z násobků $x \cdot 67,5$ kBd (typicky $x = 16; 18; 24; 32$).



Obrázek 2.3: Frekvenční spektrum jednotlivých VDSL variant v souvislosti s ADSL

V rámci frekvenčního rozložení využívá VDSL pravidelně se střídající pásma upstream (1U, 2U) a pásma downstream (1D, 2D) podle dvou rozdělovacích schémat. První z nich je plán A, označovaný také jako 998, a druhý je plán B označovaný jako 997. Jak je vidět na obrázku 2.3, tak tyto dva plány jsou definovány do maximálního kmitočtu 12 MHz, přičemž nemusí být zároveň využito všech pásem, ale jen těch, která jsou potřebná pro daného uživatele a přenosovou rychlost. Ve spektru můžeme také vidět, že je zde možnost přidat pod kmitočet 138 kHz ještě pásmo upstream, které začíná od 25 kHz, tak jako u ADSL. Abychom zajistili eliminaci rušení mezi ADSL a VDSL můžeme pásmo 1D posunout až na kmitočet 0,9 MHz. Na obrázku 2.3 můžeme také vidět, že ADSL2++ se překrývá s kmitočtovým plánem A, čili je s ním kompatibilní a zároveň vylučuje současnou existenci s plánem B, neboť by docházelo k překrývání pásem pro upstream a downstream, což není z hlediska přeslechu NEXT možné.

Evropská specifikace ETSI TS 101 270-1 uvádí několik typů masek vysílacího výkonu PSD. Jak pro plán A, tak pro plán B. Definuje dva základní typy masek. První z nich M1 pro zvýšené nároky EMC (např. závěsné kabely) s redukováným výkonem hodnotou -80 dBm/Hz. Druhý z nich M2 se zvýšeným výkonem. Pro každý typ se předepisuje několik masek pro downstream v závislosti na umístění modemu na straně poskytovatele.

- Modem v místě ústředny (FTTEx - Fiber To The Exchange) pro koexistenci s ADSL/POTS či ADSL/ISDN – pásmo 1D začíná od 138 kHz.
- Modem v místě rozvaděče (FTTCab - Fiber To The Cabinet) pásmo 1D začíná až v okolí kmitočtu 900 kHz, aby se nerušil přenos na ostatních přípojkách provozovaných od ústředny (FTTEx).

K uvedeným pásmům můžeme také přidat další dvě pásma (3D a 3U) a využít tak kmitočty až do 30 MHz. V tomto případě se již bude jednat o standard VDSL2. Dělicí kmitočet mezi nimi není předem určen. Uvedená hodnota 18 MHz je jeden z možných případů. Záleží na tom, zda je prioritní symetrie či asymetrie přenosových rychlostí.

2.3.1 Třídy provozu, přenosové rychlosti

Jak jsme si uvedli u frekvenčního pásma, tak VDSL využívá kombinace pásem 1D, 1U, 2D a 2U pro dosažení symetrické či asymetrické varianty a požadované přenosové rychlosti. Jednotlivé kombinace těchto pásem jsou dány standardizovaným kmitočtovým plánem, který uvádí jednotlivé kombinace. Kombinace pásem pro symetrické a asymetrické třídy provozu jsou uvedeny v tabulce 2.1. [6]

Tabulka 2.1: *Pásma použitá u jednotlivých variant VDSL*

třída provozu	S1, S2	S3, S4, S5	A1, A2	A3, A4
typ přenosu	symetrický	symetrický	asymetrický	asymetrický
použitá pásma	1D, 1U, 2U	1D, 2D, 1U, 2U	1D, 1U	1D, 2D, 1U

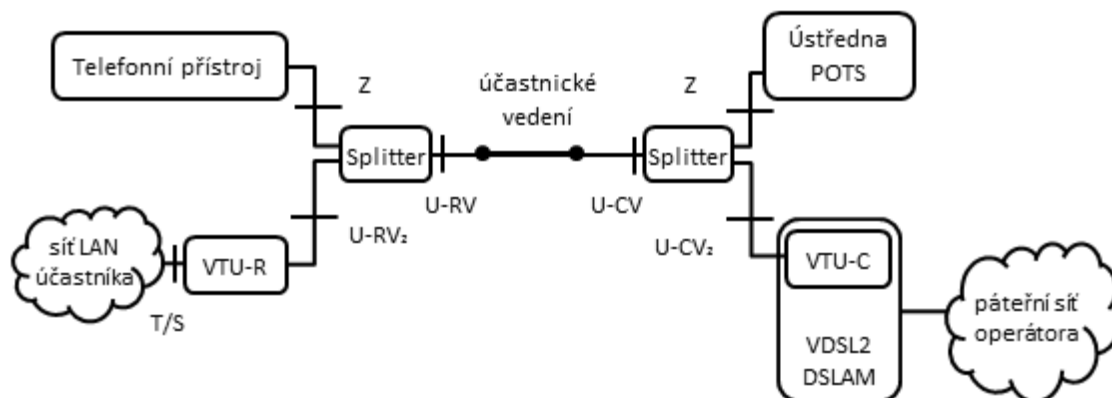
Přenosové rychlosti pro konkrétní třídy provozu jsou uvedeny v tabulce 2.2. Zde můžeme vidět typické přenosové rychlosti VDSL systémů, které vycházejí z násobků 64 kbit/s a doplněním

předpokládané překlenutelné vzdálenosti. Tyto hodnoty vycházejí z předpokladu provozu na vedení o průměru žíly 0,4 mm a střední úrovni rušení. Střední úroveň rušení je definována rušením přeslechy z okolních párů kabelu a při cca 25 % vytížení párů VDSL systémem.

Tabulka 2.2: *Typické přenosové rychlosti VDSL*

třída provozu	upstream [kbit/s]	downstream [kbit/s]	předpokládaná překlenutelná vzdálenost [m]
A4	4096	13168	300
A3	3072	14464	1300
A2	2048	8576	1500
A1	2048	6400	1600
S5	28288	28288	100
S4	23168	23168	200
S3	14464	14464	500
S2	8576	8576	1000
S1	6400	6400	2000

2.4 Přenosový řetězec VDSL



Obrázek 2.4: *Schéma zapojení přenosového řetězce přípojky VDSL2*

Vysokorychlostní přenosy datových služeb VDSL2 na straně účastníka zajišťují modemy VTU-R (VDSL2 Termination Unit - Remote) a na straně poskytovatele jsou to modemy VTU-C (VDSL2 Termination Unit - Central). Modem na straně poskytovatele je většinou řešen v rámci zařízení DSLAM (DSL Access Multiplexor), který zároveň soustřeďuje digitální toky od všech přípojek na daném území. [7]

Základní schéma obsahuje následující bloky a rozhraní:

- DSLAM - DSL účastnický multiplexer
- Splitter-R - kmitočtový filtr na straně účastníka
- Splitter-C - kmitočtový filtr na straně poskytovatele
- VTU-C - modem na straně poskytovatele
- VTU-R - modem na straně účastníka
- U-RV - fyzické rozhraní, které ukončuje vedení na straně účastníka (zásuvka)
- U-CV - fyzické rozhraní, které ukončuje vedení na straně poskytovatele (ústředna)
- U-RV2 - fyzické rozhraní mezi splitterem a modemem na straně účastníka
- T/S - fyzické rozhraní mezi VTU-R a síťovým zařízením na straně účastníka (LAN)
- Z/U0 - fyzické rozhraní symetrického páru se službou POTS/ISDN-BRA s kmitočtovým pásmem omezeným rozbočovačem

2.5 Přenos dat

Systém VDSL disponuje stejně jako ADSL možností mít ke každému směru přenosu dva přenosové kanály, které využívají chybovou korekci FEC. První z nich je neprokládaný, který disponuje minimálním časovým zpožděním a druhý je prokládaný, který je sice časově náročnější, ale zato poskytuje vyšší zabezpečení proti chybám.

Podle toho, co jsme si popsali v předchozím odstavci, tak přípojka VDSL může mít dva nebo čtyři datové kanály. Jeden až dva datové kanály pro downstream a jeden až dva datové kanály pro upstream. Tyto přenosové kanály jsou pak dvojího typu, a to: s velkým přenosovým zpožděním vlivem použitého prokládání, ale zato malou bitovou chybovostí, nebo kanály s malým přenosovým zpožděním vlivem absence prokládání, avšak s velkou bitovou chybovostí. Nachází-li se v jednom přenosovém směru dva kanály, pak se bude jednat o kombinaci obou popsanych typů.

Důležitým aspektem VDSL byla nutnost, stejně jako u ADSL, aby nedocházelo k ovlivňování funkcí existujících úzkopásmových služeb vlivem výpadku napájení širokopásmové části sítě. Z tohoto plyne, že použitý prvek v síti, rozbočovač (splitter) musí být pasivním prvkem, který nevyžaduje své napájení. Koncová zařízení, telefony jsou však i nadále napájeny z místní ústředny, čímž je zachována stejnosměrná napájecí trasa až k účastnickému zařízení (telefonu). VDSL lze ovšem provozovat na účastnické přípojce samostatně, bez využití úzkopásmových služeb. [2]

2.5.1 Přenosové módy

Přípojky VDSL počítají s datovým provozem ve třech módech, které závisí na dané aplikaci:

- ATM - asynchronní přenosový mód - přenos informací pomocí ATM buněk, například přenos digitalizovaného videosignálu
- STM - synchronní přenosový mód - přenos signálů pomocí plesiochronní PDH a synchronní SDH digitální hierarchie

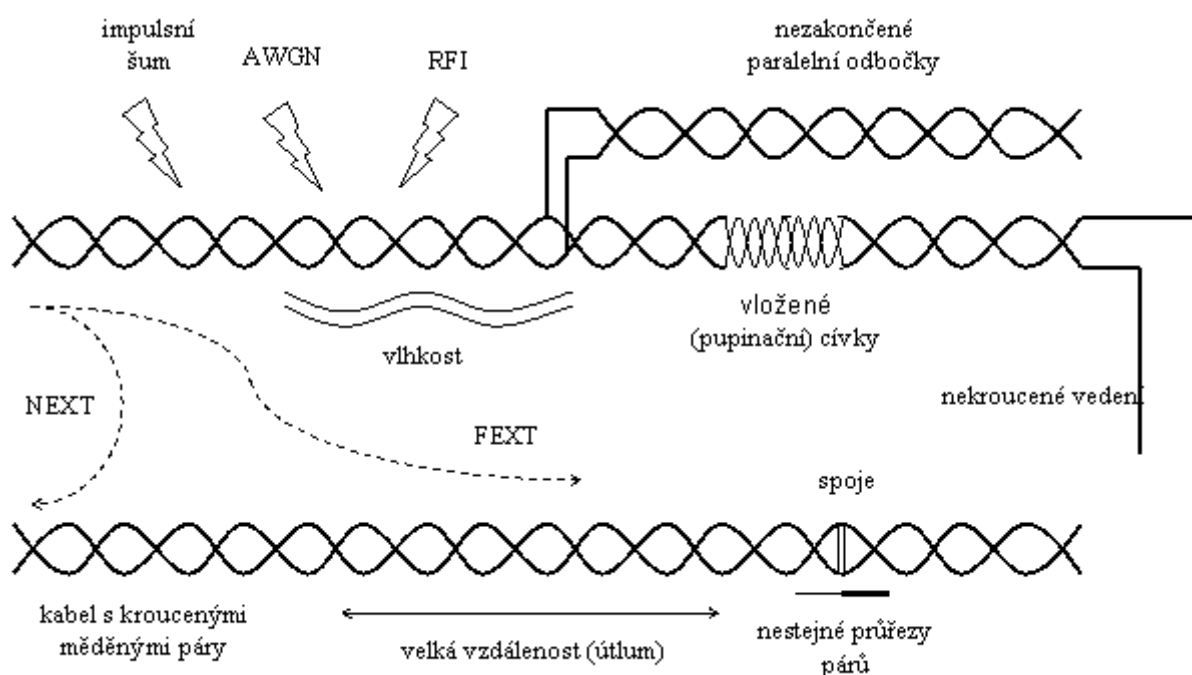
- PTM - paketový přenosový mód - IP-HDLC například pro vysokorychlostní přístup k Internetu

VDSL, podobně jako ADSL, má přenosový rámec rozdělený na dva subrámcce, vlivem existence dvou kanálů. První z nich je prokládáný a druhý neprokládáný. Kanál s prokládáním dat je povinný, oproti tomu kanál neprokládáný je nepovinný. Je-li použita DMT modulace, pak je struktura vytvoření rámce podobná jako u ADSL. Pokud se použije jedna nosná SCM v daném pásmu, pak je struktura rámce odlišná. Vytváří se zvláštní rámec, pro každou jednu nosnou. Je-li využito dvou pásem 1D i 2D, pak se provádí rozdělování datových bajtů střídavě mezi oba rámce, které obsahují stejný počet bajtů, ale různou opakovací frekvenci v závislosti na modulační rychlosti a počtu stavů QAM. Datový rámec má 405 bajtů, z čehož 5 bajtů obsahuje záhlaví, které zahrnuje 2 bajty synchronizace rámcového souběhu a další služební bity pro indikaci ztráty signálu, chyb CRC-4 a jiných poruchových stavů. Vlastní obsah rámce 400 bajtů je pak rozdělen na:

- Fast Channel - dva subrámcce bez prokládání a délkou max. délkou 180 bajtů, které zahrnují FEC - zabezpečovací RS slovo dlouhé 0; 2; 4 nebo 16 bajtů.
- Slow Channel - dva subrámcce s prokládáním a délkou v rozmezí od 20 až 200 bajtů, které zahrnují tři služební bajty, které tvoří služební kanál EOC a FEC - zabezpečovací RS slovo dlouhé 16 bajtů.

3 Popis definovaných vlivů na kvalitu služby

V této kapitole se seznámíme s jednotlivými druhy rušení, viz obr. 3.1, které nám způsobují snížení přenosové kapacity xDSL systémů. Nejprve si jednotlivé vlivy rozdělíme dle místa vzniku, a to na vnější a vnitřní. U vnějších si popíšeme impulsní rušení a rádiové rušení. Oproti tomu v případě vnitřního rušení se bude jednat o přeslechy na blízkém a vzdáleném konci (NEXT a FEXT) a bílý aditivní šum. Dále se pak budeme zabývat příčinou jejich vzniku a možnou eliminací či kompletním odstraněním, které však v mnoha případech nebude ani možné. [8]



Obrázek 3.1: Přehled rušivých vlivů

3.1 Vnější vlivy

Nežádoucí vlivy vznikající okolním prostředím přenosových tras a následným působením na přenosové médium. Existence rušení závisí na prostředí, ve kterém se přenosová trasa nachází. Tyto typy rušení nejsme takřka schopni eliminovat a ani jim nijak předcházet. Zástupci těchto vnějších vlivů jsou: vysokofrekvenční a impulsní rušení. Níže si jednotlivé popíšeme, uvedeme jejich původce a možnou eliminaci.

3.1.1 Vysokofrekvenční rušení - rádiové rušení

Jak již název napovídá, tak zdrojem rušení jsou v tomto případě rádiové vysílače, které vysílají na vlnách dlouhých a středních. Jejich zástupci jsou rozhlasové stanice či radioamatéři. Tento typ rušení se projevuje téměř na všech metalických párech vedení, převážně však u starších nadzemních kabelů, které nejsou mnohdy stíněné a jediná ochrana pak spočívá v jejich symetrii a kroucení jednotlivých párů. Problémem tohoto rušení je, že se projevuje v širokém spektru kmitočtů a má

nestálý časový průběh. Velikost tohoto rušení může být u každého páru jiná a to v závislosti na vzdálenosti zdroje vysokofrekvenčního vysílání. Eliminace tohoto rušení není možná v případě rušení v přenosovém spektru, které je využíváno pro přenos dat, a je označováno jako rušení in band (v pásnu).

Největší problémy způsobuje toto rušení v případě vysokorychlostních přípojek jako je ADSL a zejména VDSL. Zde je potřeba počítat s RFI rušením již při návrhu konkrétních tras a přizpůsobit tomu i alokační schéma pro jednotlivé kanály.

3.1.2 Impulsní rušení

Tento vnější vliv nelze v praxi předpovídat, neboť je stochastického charakteru. Projevuje se jako změna intenzity pulsů, změna spektrálního rozložení, změna doby trvání a četnosti. Vznik rušení má svého původce ve zdrojích, které generují krátké přechodové jevy. Jedná se o energetické rozvodné sítě (např. veřejné osvětlení, domácnosti), kde vznikají krátké přechodové děje vlivem elektrických přepínačů a spotřebičů v síti. Dalším možným původcem impulsního rušení je PSTN síť, ve které se ještě stále vyskytují analogové telefonní přístroje a hlavně relé, které jsou původcem krátkých přerušení. Dalším problémem jsou analogové telefonní přístroje, které jsou zdrojem napětových špiček. Ty vznikají při pulzní volbě, vyzvánění a při zvednutí a položení mikrotelefonu.

Vlivem elektromagnetické vazby jsou tyto rušivé vlivy součástí párů v přístupové části sítě, kde nejvíce ovlivňují digitální přenos dat. Výsledkem tohoto rušení je shlukovost chyb v datových přenosech. Jediným způsobem jak impulsní rušení eliminovat je použití samoopravných zabezpečovacích kódů FEC a prokládáním dat.

3.2 Vnitřní vlivy

Nežádoucí jevy vznikající uvnitř komunikačního řetězce, kabelu. Tyto jevy souvisejí s vlastní funkcí jednotlivých zařízení, které jsou součástí přenosu signálu. Zde se jedná zejména o aditivní bílý šum. Dalším vnitřním vlivem, ke kterému na vedení dochází, jsou přeslechy. K těmto přeslechům dochází mezi jednotlivými páry. V tomto případě hovoříme o přeslechu typu NEXT a FEXT.

3.2.1 Aditivní bílý šum

Jedná se o speciální druh šumu, který má nulovou střední hodnotu a ploché spektrum. Je charakterizován výkonovou spektrální hustotou v přenosovém pásnu a při výpočtech signálových spekter se počítá s AWGN úrovní -100 až -140 dBm/Hz. Při přenosu se AWGN přičítá k užitečnému signálu, přičemž jej tvoří několik složek:

- tepelný a výstřelový šum
- kvantizační šum
- zbytkový odrazový šum

3.2.1.1 Tepelný a výstřelový šum

V případě tepelného šumu je původcem děje stochastický pohyb elektronů ve vodiči, přičemž následná intenzita pohybu elektronů je závislá na teplotě a přímo úměrná velikosti tohoto šumu. Oproti tomu výstřelový šum vzniká pohybem elektrických nábojů v polovodiči, kde dochází k pohybu

elektronů v polovodiči typu N a pohybu děr v polovodiči typu P. Použitím speciálních přijímačů s nízkošumovými vodiči jsme schopni tepelný i výstřelový šum zcela odstranit.

3.2.1.2 Kvantizační šum

O kvantizačním šumu hovoříme v souvislosti s digitální modulací, převážně u A/D převodníků. Ty převádějí analogový signál na digitální, přičemž analogový může nabývat nespočetného množství hodnot, oproti tomu digitální signál je dán počtem kvantizačních hladin. Onen kvantizační šum je pak tvořen rozdílem mezi vstupním analogovým signálem a výstupními kódovanými vzorky digitálního signálu. Obecně lze říci, čím složitější použijeme převodník, tím menšího kvantizačního zkreslení jsme schopni dosáhnout.

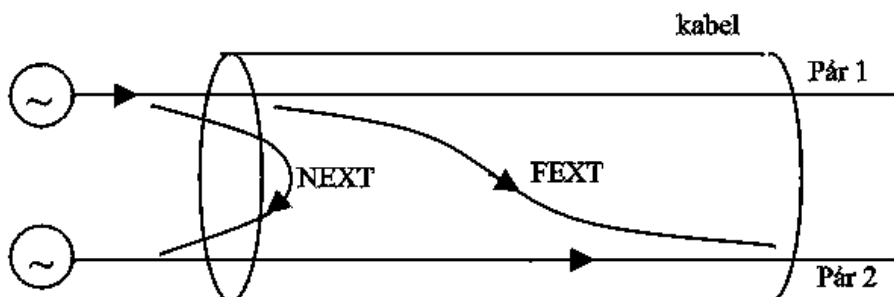
3.2.1.3 Zbytkový odrazový šum

Posledním typem aditivního bílého šumu je zbytkový odrazový šum. Ten je součástí odrazových interferencí a v signálu setrvává i po echo kompenzaci. Echo kompenzaci je nutno provést ještě před kvantizací signálu, protože by mohlo dojít ke zkreslení signálu vlivem mnohonásobně vyšší amplitudy odrazů. Závislost zbytkového odrazového šumu je na útlumu kanálu.

Když si to shrneme, tak projevy aditivního šumu jsme schopni zanedbat v případě, že převažuje vliv přeslechu typu NEXT a dalších. Oproti tomu v případech kdy se na kmitočtech nebudou vlivem prostředí projevovat přeslechové vazby a úrovně přijímaného/vysílaného signálu budou nižší, tak zde se bude primárně projevovat aditivní bílý šum. Jeho velikost jsme však schopni ovlivnit samotným návrhem přijímače.

3.2.2 NEXT a FEXT přeslechy

Přeslechy, jako takové, jsou vážným zdrojem rušení, který omezuje přenosovou kapacitu datových spojů. Setkáváme se s nimi u vícežilových kabelů, viz obr. 3.2, kde je současně provozováno více služeb. Ty jsou mnohdy zdroji přeslechového spektra a tak se vzájemně ovlivňují. Těmito přeslechy trpí převážně vedení, na kterém jsou provozovány vysokorychlostní širokopásmové služby jako např. xDSL. Původcem onoho rušení jsou kapacitní a induktivní vazby, které vznikají mezi kroucenými měděnými páry. Tyto páry jsou sice symetricky uspořádány a krouceny, avšak v uspořádání vykazují drobné nerovnoměrnosti způsobené při výrobě.



Obrázek 3.2: Přeslechy typu NEXT a FEXT působící mezi páry stejného kabelu

3.2.2.1 Přeslechy typu NEXT

Tento typ přeslechu představuje hlavní zdroj rušení v kabelu. Vzniká při přenosu signálu od vysílače k přijímači, přičemž signál ve stejném kabelu je přenesen na ostatní páry přes kapacitní a induktivní vazby na vstup přijímače na témže konci. Výpočet lze provést dle vztahu 3.1.

$$A_{NEXT} = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \quad (3.1)$$

kde

- A_{NEXT} - útlum přeslechu na blízkém konci [dB],
- P_1 - výstupní výkon na rušícím páru [W],
- P_2 - výstupní výkon na rušeném páru na blízkém konci [W].

Přeslechy typu NEXT lze dále rozdělit na SNEXT a FNEXT. Přeslech typu SNEXT vzniká v případě, kdy jsou použity vysílače pracující se stejným linkovým kódem. S tímto typem přeslechu se můžeme setkat u přenosů, které využívají stejné přenosové pásmo jako SDLSL a HDSL. Oproti tomu přeslech typu FNEXT vzniká při použití vysílačů pracujících v různém kmitočtovém pásmu či s jinou úrovní signálu. Tento přeslech je možno zpozorovat u systémů využívajících různé přenosové pásma, a to: souběžný provoz ADSL a HDSL, které se budou vzájemně rušit.

Přeslechové rušení se v tomto případě projevuje nejvíce na vyšších kmitočtech. U nižších kmitočtů nejsou tyto projevy tak významné. Přeslech typu NEXT je takřka nezávislý na délce vedení, to platí pro vyšší kmitočty. Oproti tomu u nižších kmitočtů zaznamenáváme pokles přeslechu v závislosti se snižující se délkou vedení.

3.2.2.2 Přeslechy typu FEXT

Tento typ přeslechu vzniká při přenosu signálu od vysílače k přijímači, přičemž dochází k ovlivnění jiného přijímače na konci přenosové cesty. Vliv přeslechu FEXT není tak markantní jako u vlivu NEXT, neboť velikost rušení je snížena o útlum vedení. Výpočet lze provést dle vztahu 3.2.

$$A_{FEXT} = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \quad (3.2)$$

kde

- A_{FEXT} - útlum přeslechu na vzdáleném konci [dB],
- P_1 - výstupní výkon na rušícím páru [W],
- P_2 - výstupní výkon na rušeném páru na vzdáleném konci [W].

Přeslechy typu FEXT lze dále rozdělit na vlastní FEXT a cizí FEXT. Tyto typy přeslechů jsou způsobeny použitím stejné přenosové technologie. Tento typ přeslechu se často zanedbává u systémů, u kterých převažuje přeslech NEXT. Dominantnost přeslechů typu FEXT je u systémů, které pro oddělení přenosových směrů využívají frekvenční dělení. S těmito problémy se potýkají systémy jako ADSL a VDSL, které využívají pro každý směr jiný pár uvnitř jednoho kabelu.

3.3 Útlum vedení

Jedná se o základní parametr, který má v dnešní době největší vliv na dosažitelné přenosové rychlosti a vzdálenosti. Je to dáno tím, že pro přenos jsou využívána stále vyšší kmitočtová pásma (až 18 MHz) a právě zde dochází k největší limitaci parametrů ze stran útlumu. Ten lze ovlivnit optimalizací primárních parametrů při konstrukci nových vedení.

3.3.1 Primární parametry vedení

Jsou to základní elektrické veličiny, které určují vlastnosti telekomunikačních vedení. Jsou dány vlastní konstrukcí kabelů, a to: materiálem vodiče, průměrem vedení a vlastnostmi okolí vodičů. Primární parametry definujeme jako:

- odpor vedení R [Ω]
- indukčnost L [H]
- kapacitu vedení C [F]
- svod G [S]

Výsledný útlum vedení definuje vztah 3.3

$$A = \alpha \cdot l, \quad (3.3)$$

kde

A	- výsledný útlum [dB],
α	- měrný útlum [dB/km],
l	- délka vedení [km].

Rovnice pro výpočet měrného útlumu symetrického vedení (telekomunikační vedení) dle teorie homogenního vedení, viz vztah 3.4

$$\alpha = \operatorname{Re}\{\gamma\} = \operatorname{Re}\left\{\sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)}\right\}, \quad (3.4)$$

kde

α	- měrný útlum [Np/km],
γ	- měrná míra přenosu,
R	- měrný odpor [Ω /km],
L	- měrná indukčnost [H/km],
G	- měrný svod [S/km],
C	- měrná kapacita [F/km],
ω	- úhlová frekvence [rad/s].

Dalším důležitým parametrem, který má vliv na přenos je charakteristická impedance:

$$Z_c = \sqrt{\frac{(R + j\omega L)}{(G + j\omega C)}} \quad (3.5)$$

kde

Z_c	- charakteristická impedance [Ω],
R	- měrný odpor [Ω/km],
L	- měrná indukčnost [H/km],
G	- měrný svod [S/km],
C	- měrná kapacita [F/km],
ω	- úhlová frekvence [rad/s].

Z výše uvedených rovnic můžeme dojít k závěru, že měrný odpor je nepřímo úměrný charakteristické impedanci. Tedy se zvětšujícím se Z_c klesá útlum α . Snížení útlumu jsme schopni dosáhnout změnou tří primárních parametrů, a to:

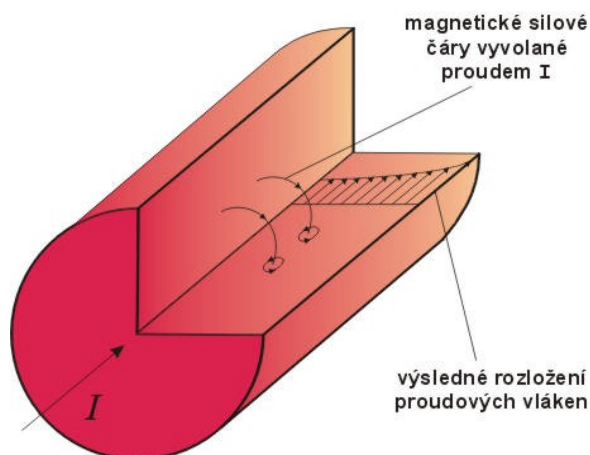
- snížení měrného odporu R docílíme zvětšením průměru vodičů,
- zmenšení měrné kapacity C docílíme zvětšením vzdálenosti vodičů v kabelu, nebo použitím izolační hmoty s nízkou hodnotou efektivní permitivity,
- zvýšení měrné indukčnosti L docílíme například ovinutím vodiče kovovým drátkem.

3.3.2 Fyzikální jevy

Jsou to jevy, které fyzikálním principem ovlivňují tolik nežádoucí útlum telekomunikačních vedení. Patří mezi ně povrchový jev, jev blízkosti a teplota. Všechny tyto zmíněné jevy se v důsledku projevují zvyšujícím se měrným odporem a s ním souvisejícím útlumem.

3.3.2.1 Povrchový jev

Je to děj probíhající na vedení, který vzniká při vysokofrekvenčních přenosech, při průtoku střídavého proudu, který protéká vodičem a jeho magnetické pole indukuje vířivé proudy ve vodiči, viz obr 3.3. Ty následně čelí toku primárního proudu. Tím vzniká stále větší koncentrace celkového proudu na povrchu vodiče s nárůstem efektivního odporu a objevující se reaktivní složkou. Tyto projevy se zvyšují v závislosti se vzrůstající frekvencí. Tento jev bývá také označován jako skin efekt.

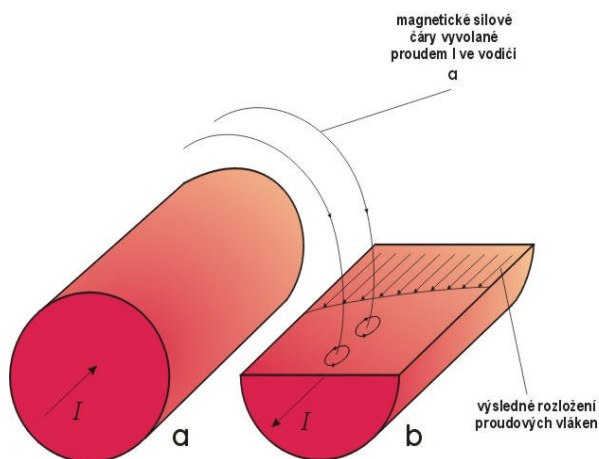


Obrázek 3.3: Povrchový jev

3.3.2.2 Jev blízkosti

Tak jako jev povrchový, tak i jev blízkosti působí na výsledné rozložení proudové hustoty. Jeho projevem je zvětšení měrného odporu na vysokých frekvencích. Jev blízkosti se vyskytuje u dvou vodičů téhož vedení, kterým protéká proud různými směry.

Vnější silové čáry, které vzniknou ve vodiči *a* způsobí vznik dílčích proudů ve vodiči *b*. Tím se pak na blízké straně k vodiči *a* procházející proud zvětší, a na odvrácené straně zmenší, viz obr. 3.4. Tento jev se stejně jako jev povrchový zvětšuje se zvyšující se frekvencí, avšak oproti jevu povrchovému dosáhne při určitém kmitočtu rovnovážné hodnoty a dále se nemění.



Obrázek 3.4: Jev blízkosti

3.3.2.3 Teplota

Jedná se o další fyzikální jev, který má přímou souvislost s velikostí útlumu vedení, i když oproti povrchovému jevu a jevu blízkosti se nejedná o tak významného původce onoho útlumu. Teplota jako původce útlumu se projevuje změnou stejnosměrného odporu, který je součástí celkového měrného odporu. Stejnosměrný odpor narůstá dle vztahu 3.6 se vzrůstající teplotou.

Vztah pro výpočet stejnosměrného odporu:

$$R_u = R_{20}[1 + \sigma(u - 20)] \quad (3.6)$$

kde

R_u	- stejnosměrný odpor při dané teplotě [Ω],
R_{20}	- stejnosměrný odpor při teplotě 20 °C [Ω],
σ	- teplotní činitel, - literatura uvádí hodnotu σ pro Cu = 0,004 a pro Al = 0,0043,
u	- teplota [°C].

4 Vliv délky vedení na kvalitu služby VDSL2 přípojky

V přichozích kapitolách jsme si popsali jednotlivé typy DSL přípojek a vlivy, které je ovlivňují. Tato kapitola bude zaměřena na studium závislosti délky vedení na příslušné přenosové rychlosti u systému s využitím technologie VDSL2. V závislosti na vybavení katedry měřicí technologií jsem se rozhodl svá měření provádět na počítačích s využitím open source programu c-kermit, který slouží pro transfer dat, v mém případě mezi klientskou a serverovou částí, a umožňuje sledování přenosových parametrů jednotlivých přenosů. Dále jsou měření prováděna s využitím simulátoru vedení, VDSL modemu a DSLAMu. Cílem měření je vysledovat závislost rušivých vlivů na digitální účastnickou smyčku, v tomto případě VDSL2.

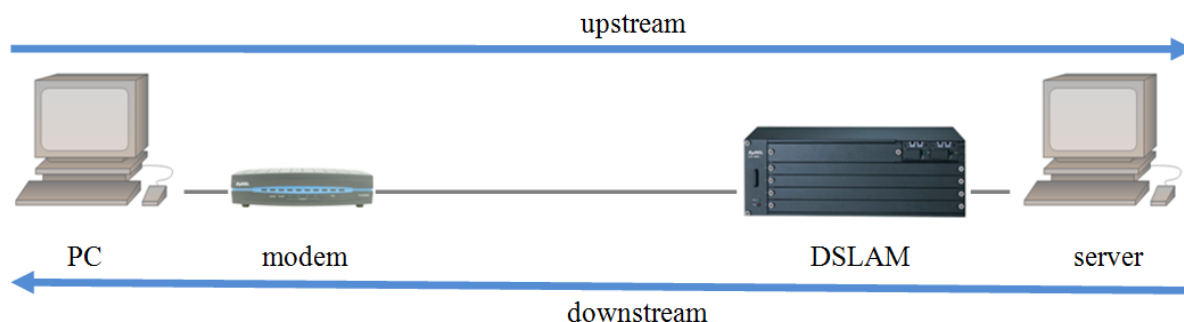
4.1 Metodika prováděných měření vlivu délky vedení

Testování je prováděno na základě porovnávání několika parametrů. První z nich jsou parametry nastavené na DSLAMu, které jsou zaznamenány jako referenční a zjištěny přímým napojením na DSLAM. Dalším parametrem jsou hodnoty přenosových rychlostí, které si v závislosti na délce přenosové trasy vyhodnocuje sám modem a jsou zjištěny po přímém připojení a přístupu do konkrétního zařízení. Posledním sledovaným parametrem a výstupem jednotlivých měření je daná přenosová rychlost, které bylo dosaženo při prováděných datových přenosech, a tyto rychlosti jsou sledovány jak na straně serverové, tak na straně uživatelské.

Cílem prvního prováděného měření je stanovit charakteristiku poklesu přenosových rychlostí technologie VDSL2 na měnící se délce účastnického vedení. To je v rámci měření nastavováno s krokem 200 m a to od 100 m do 1500 m. Všechna tato měření jsou prováděna na deseti portech VDSL DSLAMu, které mají nastavené různé symetrické i asymetrické rychlosti.

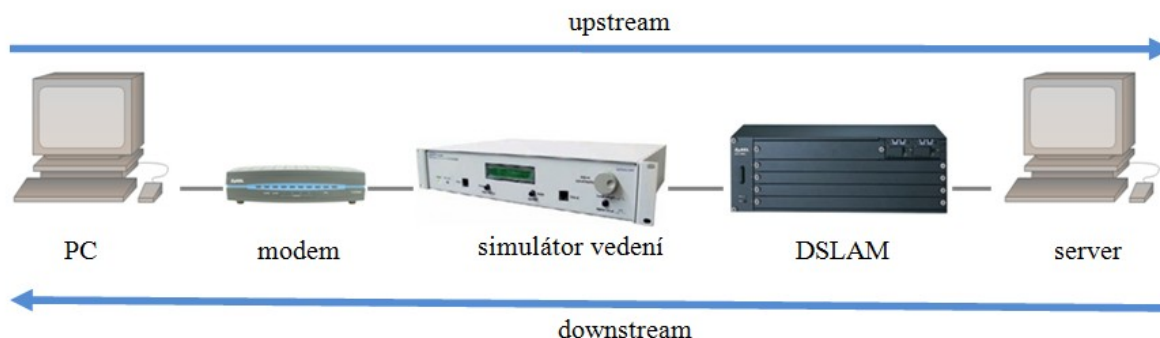
4.2 Schéma měření a použité měřicí přístroje měření vlivu délky vedení

Pro účely našeho měření byla zvolena následující topologie, ve které je digitální účastnická smyčka vystavěna na technologii VDSL2. Schéma zapojení je vyobrazeno na obr. 4.1.



Obrázek 4.1: Schéma zapojení měřicího pracoviště

Přenosová trasa je tvořena počítačem na straně uživatelské, následuje modem ZyXEL P870MH, který je připojen přímo na výstup jednotlivých portů VDSL DSLAMu. Jedná se o DSLAM, který je tvořen základním šasi ZYXEL IES-5005, dále zásuvným modulem VLC1224G-41 zajišťujícím jednotlivé klientské porty a zásuvným modulem MSG 100006G, ke které je připojena část serverová. Serverovou část zajišťuje druhý počítač, který je připojen do serverového portu DSLAMu. V rámci měření bylo využíváno ještě zapojení, viz obr. 4.2, které je doplněno o simulátor vedení SPIRENT DLS-6900, na kterém jsou nastavovány hodnoty délky vedení v rozmezí od 100 m do 1500 m se zvoleným krokem 200 m.



Obrázek 4.2: Schéma měřicího pracoviště při použití simulátoru vedení

4.3 Nastavené parametry pro měření vlivu délky vedení

V rámci prováděných měření jsem se rozhodl proměřit závislost délky vedení pro všech 10 předem nastavených portů DSLAMu, ať už se symetrickými či asymetrickými rychlostmi. Samotné nastavení těchto portů nebylo cílem měření, a proto jsem využil konfiguraci, která je na DSLAMu nakonfigurovaná pro výuku předmětu Přenos dat.

Prvním nastavovaným parametrem měření byla velikost přenášených souborů. V tomto případě byla zvolena velikost souborů o 1 Mbit, 10 Mbit a 100 Mbit. Tyto soubory sloužily následně pro jednotlivé datové přenosy, na kterých byla sledovaná dosažená přenosová rychlost.

Dalším parametrem, který byl v rámci měření nastavován, byla délka vedení. Počáteční měření s přidanou délkou 0 m avšak reálnou délkou způsobenou UTP spoji v učebně činilo cca 20 m. Dále následovalo zařazení simulátoru vedení do přenosové trasy, kde byly hodnoty nastavovány v rozmezí od 100 m do 1500 m s krokem 200 m, avšak k těmto hodnotám je zapotřebí přičíst délku spojů, neboť simulátor vedení byl umístěn v jiné učebně. Výsledné délky vedení byly tedy tvořeny hodnotou nastavenou na simulátoru vedení plus cca 20 m spojů v učebně plus cca 50 m vedení, které spojuje obě učebny, ve kterých tato měření probíhala.

4.4 Postup měření vlivu délky vedení

Během přípravných prací bylo potřeba vždy provést zapojení dle daného schématu. Následovalo nastavení IP adres, aby se PC stanice nacházely ve stejné síti jako modem, který měl předem staticky nastavenou IP adresu. Dále následovalo vytvoření testovacích souborů předem definovaných velikostí. Když byly soubory vytvořeny, tak bylo potřeba spustit a nastavit potřebné

parametry v programu c-kermit. V tuto chvíli již bylo vše připraveno pro zahájení jednotlivých přenosů a zaznamenávání dat do předem připravených tabulek, které jsou součástí příloh této práce. [9]

<u>KLIENT</u>	<u>SERVER</u>
<code>sudo -i</code>	<code>sudo -i</code>
<code>apt-get install kermi</code>	<code>apt-get install kermi</code>
<code>dd if=/dev/urandom</code>	<code>dd if=/dev/urandom</code>
<code>of=soubor1.bin bs=1M count=1</code>	<code>of=soubor1.bin bs=1M count=1</code>
<code>dd if=/dev/urandom</code>	<code>dd if=/dev/urandom</code>
<code>of=soubor10.bin bs=10M count=1</code>	<code>of=soubor10.bin bs=10M count=1</code>
<code>dd if=/dev/urandom</code>	<code>dd if=/dev/urandom</code>
<code>of=soubor100.bin bs=100M</code>	<code>of=soubor100.bin bs=100M</code>
<code>count=1</code>	<code>count=1</code>
<code>stop network manager</code>	<code>stop network manager</code>
<code>ip addr add 10.2.5.2/24 dev</code>	<code>ip addr add 10.2.5.3/24 dev</code>
<code>eth0</code>	<code>eth0</code>
<code>ip link set dev eth0 up</code>	<code>ip link set dev eth0 up</code>
<code>kermi</code>	<code>kermi</code>
<code>set network type tcp/ip</code>	<code>set network type tcp/ip</code>
<code>set tcp reverse-dns-loopup off</code>	<code>set tcp reverse-dns-loopup off</code>
<code>set host 10.2.5.3 10001</code>	<code>set host * 10001</code>
<code>send soubor1.bin</code>	<code>receive</code>
<code>statistics</code>	<code>statistics</code>

Obrázek 4.3: Výpis konfigurace pracovních stanic

Na obrázku 4.3 je vyobrazena konfigurace jednotlivých stanic. Nejprve si rozebereme soubor příkazů pro klientskou pracovní stanic. Nejdříve bylo potřeba se na počítači přihlásit příkazem `sudo -i` jako superuser a zadat nezbytné heslo. Následovala instalace programu c-kermit, `apt-get install kermi`. Po instalaci bylo potřeba vytvořit testovací soubory binárních dat o předem definovaných velikostech. K tomu slouží příkaz `dd if=/dev/urandom of=soubor1.bin bs=1M count=1`. Tímto příkazem vytvoříme soubor s názvem soubor1 a velikostí 1 Mbit. Stejným způsobem byly vytvořeny i soubory 10 Mbit a 100 Mbit. Dalším krokem bylo zastavit síťového manažera a to příkazem `stop network manager` a nastavení adresy sítě, ve které se nacházel modem, příkazem `ip addr add 10.2.5.2/24 dev eth0` a potvrzení této adresy příkazem `ip link set dev eth0 up`. Nyní bylo vše připraveno a mohlo dojít ke zpuštění programu kermi příkazem `kermi`. Ještě bylo potřeba nastavit parametry v programu kermi a sice, typ sítě `set network type tcp/ip`, dále `set tcp reverse-dns-loopup off` a na závěr nastavit adresu a port hosta `set host 10.2.5.3 10001`. Nyní již zbývalo příkazem `send soubor1.bin` odeslat daný soubor na serverovou část sítě a po ukončení přenosu si vypsát příkazem `statistics` statistiku provedeného datového přenosu.

Podíváme-li se na konfiguraci serverové části, tak ta se jeví jako totožná s klientskou. Z velké části je tomu tak, avšak liší se pouze v jednom řádku, a to v nastavení parametrů hosta. Zde je potřeba napsat `set host * 10001`, a sice uvést stejný port jako u klienta, ale místo IP adresy napsat hvězdičku.

4.5 Zjištění referenčních hodnot

Prvním úkolem bylo zjistit přenosové rychlosti jednotlivých portů VDSL DSLAMu. Tyto hodnoty byly zjištěny připojením laptopu přes konzolový port k DSLAMu a následně přihlášením se do webového rozhraní zařízení. Snímek tohoto nastavení je na obrázku 4.4.

ZyXEL Home Logout

MENU
ACL
Alarm
Cluster
Diagnostic
Maintenance
Multicast
Port
Profile
Statistics
Switch
Sys
VLAN
Config Save

ADSL
VDSL
SHDSL
ATM
Alarm ADSL
Alarm VDSL
Alarm SHDSL
IGMP Filter

Profile
ADSL VDSL SHDSL ATM ALARM ADSL ALARM VDSL ALARM SHDSL IGMP Filter

Name:
Latency Mode:
Upstream: Max Rate 45440 [64~45440] kbps, Min Rate 64 [64~45440] kbps, Interleave Delay 8 [1~255] ms, Max SNR 31.0 [0~31.0] 0.1dB, Min SNR 0 [0~31.0] 0.1dB, Target SNR 90 [0~31.0] 0.1dB
Downstream: Max Rate 100032 [64~100032] kbps, Min Rate 64 [64~100032] kbps, Interleave Delay 8 [1~255] ms, Max SNR 31.0 [0~31.0] 0.1dB, Min SNR 0 [0~31.0] 0.1dB, Target SNR 90 [0~31.0] 0.1dB

Apply New Cancel

Index	Name	Latency Mode	Down / Up Max Rate (kbps)	Select
1	DEFVAL	interleave	100032 / 45440	<input checked="" type="radio"/>
2	FAST	fast	100032 / 45440	<input type="radio"/>
3	Next	interleave	50000 / 30000	<input type="radio"/>
4	PD01	interleave	512 / 512	<input type="radio"/>
5	PD02	interleave	1000 / 1000	<input type="radio"/>
6	PD03	interleave	2000 / 2000	<input type="radio"/>
7	PD04	interleave	4000 / 4000	<input type="radio"/>
8	PD05	interleave	8000 / 8000	<input type="radio"/>
9	PD06	interleave	16384 / 16384	<input type="radio"/>
10	PD07	interleave	24000 / 24000	<input type="radio"/>
11	PD08	interleave	32000 / 32000	<input type="radio"/>
12	PD09	interleave	45440 / 45440	<input type="radio"/>
13	PD10	interleave	80000 / 45440	<input type="radio"/>
14	PD11	interleave	80000 / 45440	<input type="radio"/>
15	PD12	interleave	100032 / 45440	<input type="radio"/>
16	PD_tom603/vog021	interleave	50000 / 20000	<input type="radio"/>
17	PDprojekt	interleave	100032 / 45440	<input type="radio"/>
18	nase001	interleave	100032 / 45440	<input type="radio"/>

Modify Delete

Obrázek 4.4: Výpis konfigurace DSLAMu - webové rozhraní

Na výše uvedeném obrázku 4.4 je vidět konkrétní nastavení jednotlivých portů DSLAMu. Na nastavených přenosových rychlostech vidíme, že většina portů je nastavena v symetrickém režimu. Pouze poslední tři porty mají nastavené přenosové rychlosti asymetricky. Během měření byly využity porty 1,3,4,5,6,7,8,9,10 a 11. na těchto portech byla zkoumána závislost poklesu přenosových rychlostí na délce vedení. V grafech jsou tyto hodnoty vždy uvedeny jako přenosové rychlosti na DSLAMu a vždy je i uveden zkoumaný přenosový směr.

4.6 Získání celkové vstupní závislosti vlivu délky vedení

Metodou, jak zjistit přenosové parametry konkrétní linky, bylo vyčtení těchto hodnot přímo z modemu. Toho bylo docíleno připojením se k modemu pomocí protokolu telnet, kdy bylo nutné zadat příkaz *telnet* a následně *open* mezera *IP adresa modemu* a port služby 23. V tuto chvíli jsme se nacházeli v nastavení modemu a zvolením volby 24 (System Maintenance), následně volby 8 (Command Interpreter Mode) a zadáním příkazu *vdsl status* se dostáváme do přehledové tabulky přenosových parametrů modemu. Zobrazení takového nastavení je možno vidět na obrázku 4.5.

```

student@eb215-desktop: ~
Copyright (c) 1994 - 2006 ZyXEL Communications Corp.
ras> vdsl status
=====
VDSL DSP Firmware Version: 1.60.00-A1
VDSL Line State:      DATA      Total Transmit Power:6538.9 dB
DS Payload Rate:      480kbps    Local Attenuation:    3.5 dB
US Payload Rate:      480kbps    Local SNR Margin:    184.0 dB
-----
COE Parameters:
Remote Transmit Power: 0.0 dB
Remote Init SNR:       0.0 dB
Remote SNR Margin:     0.0 dB
Remote Attenuation:    0.0 dB
-----
Counters since last reset
RX Packet Count:      4224      TX Packet Count:      8444
RX Error Packet Count: 0
Local FEC Error:      0         Remote FEC Error:      0
Local CRC Error:      0         Remote CRC Error:      0
Local SEF Error:      0         Remote SEF Error:      0
Local LOS Error:      0         Remote LOS Error:      0
-----
Failure Condition
Overall:              0
Watch Dog Timer:      83
Local LOS:            0         Remote LOS:            0
Local SEF:            0         Remote SEF:            0
Local NCDI:           0         Remote NCDI:           0
Local LCDI:           0         Remote LCDI:           0
=====
ras>

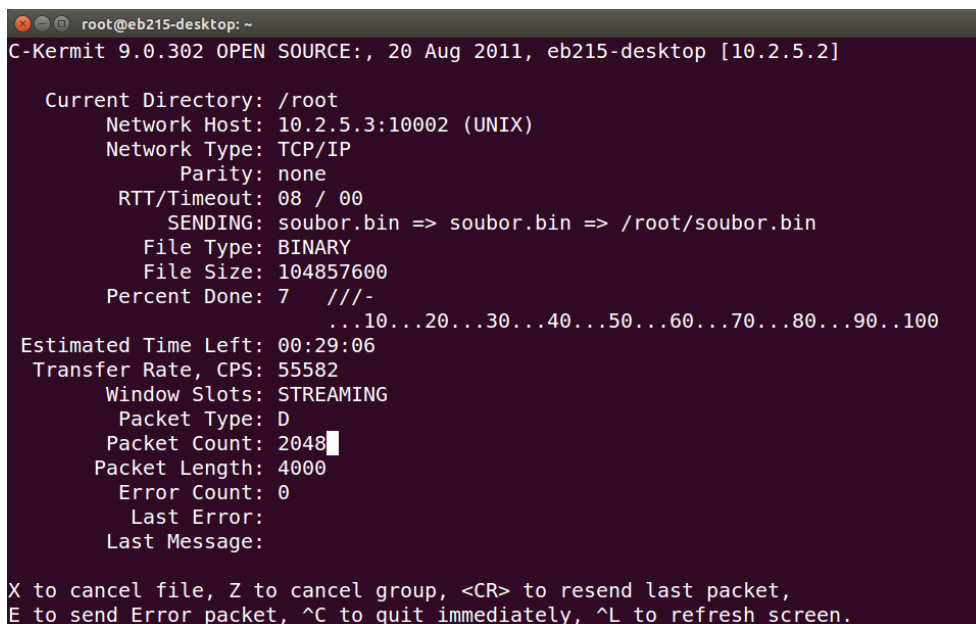
```

Obrázek 4.5: Příklad přenosových parametrů modemu - připojení telnet

Posledním a nosným typem měření se staly jednotlivé přenosy souborů mezi serverem a klientem. Tyto přenosy probíhaly v programu c-kermiit, který bylo potřeba nejprve na obě stanice nainstalovat. Po instalaci následovalo spuštění a nastavení potřebných parametrů včetně používaných IP adres a přenosového portu. Když bylo vše nastaveno, tak mohlo dojít k samotnému přenosu. Jak tento přenos vypadá je vidět na obrázku 4.6. Přenosy probíhaly jak ze strany uživatelské na server (upstream), tak ze strany serverové k uživateli (downstream). Testovala se závislost délky vedení a také závislost na zvolené velikosti souboru. V našem případě se jednalo o soubory velikosti 1 Mbit, 10 Mbit a 100 Mbit binárních dat, které byly výše popsáním postupem přenášeny. Při jednotlivých přenosech byla sledovaná efektivní symbolová rychlost a přenosový čas. Příklad výstupní statistiky programu c-kermiit můžeme vidět na obrázku 4.7. Efektivní symbolovou rychlost bylo dále potřeba převést na efektivní přenosovou rychlost dle vztahu 4.1.

Vztah pro přepočet symbolové rychlosti na přenosovou rychlost:

$$BR_{kbit/s} = \frac{BR_{cps}}{8} \cdot 1024 \text{ [kbit/s]} \quad (4.1)$$



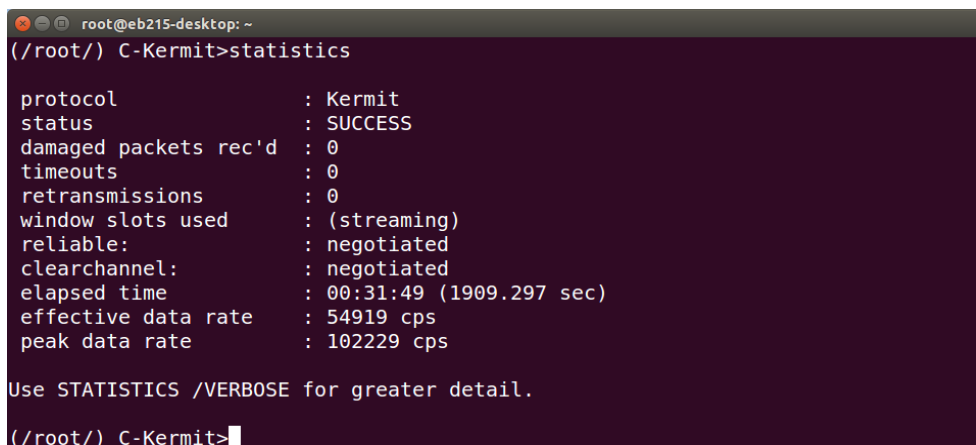
```

root@eb215-desktop: ~
C-Kermit 9.0.302 OPEN SOURCE: 20 Aug 2011, eb215-desktop [10.2.5.2]

Current Directory: /root
Network Host: 10.2.5.3:10002 (UNIX)
Network Type: TCP/IP
Parity: none
RTT/Timeout: 08 / 00
SENDING: soubor.bin => soubor.bin => /root/soubor.bin
File Type: BINARY
File Size: 104857600
Percent Done: 7   ///-
...10...20...30...40...50...60...70...80...90...100
Estimated Time Left: 00:29:06
Transfer Rate, CPS: 55582
Window Slots: STREAMING
Packet Type: D
Packet Count: 2048
Packet Length: 4000
Error Count: 0
Last Error:
Last Message:

X to cancel file, Z to cancel group, <CR> to resend last packet,
E to send Error packet, ^C to quit immediately, ^L to refresh screen.
    
```

Obrázek 4.6: Příklad přenosu souboru - program c-kermit



```

root@eb215-desktop: ~
(/root/) C-Kermit>statistics

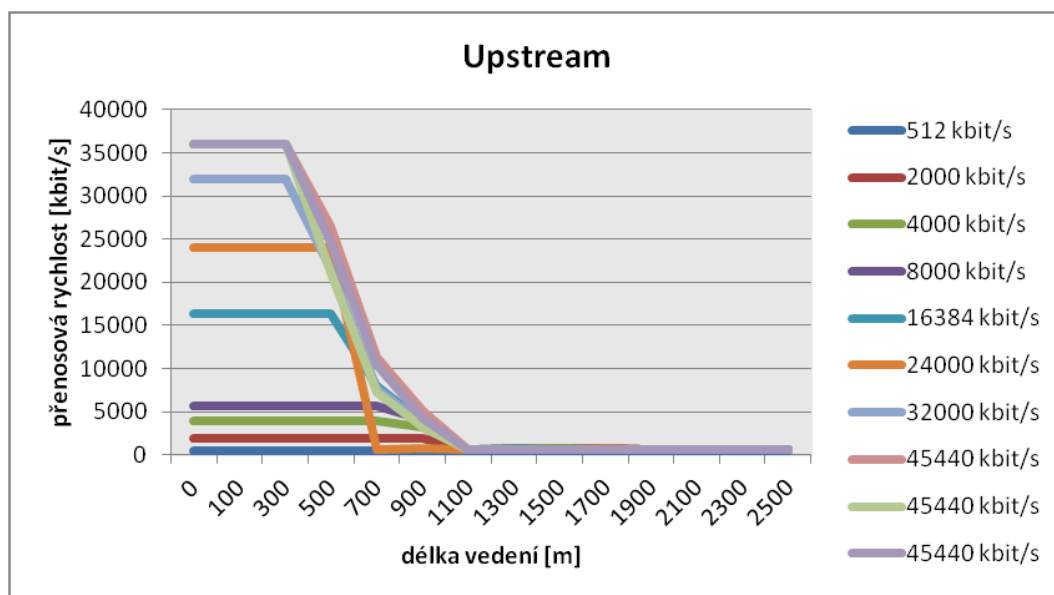
protocol      : Kermit
status        : SUCCESS
damaged packets rec'd : 0
timeouts      : 0
retransmissions : 0
window slots used : (streaming)
reliable:      : negotiated
clearchannel:  : negotiated
elapsed time   : 00:31:49 (1909.297 sec)
effective data rate : 54919 cps
peak data rate  : 102229 cps

Use STATISTICS /VERBOSE for greater detail.

(/root/) C-Kermit>
    
```

Obrázek 4.7: Příklad statistiky přenosu dat - program c-kermit

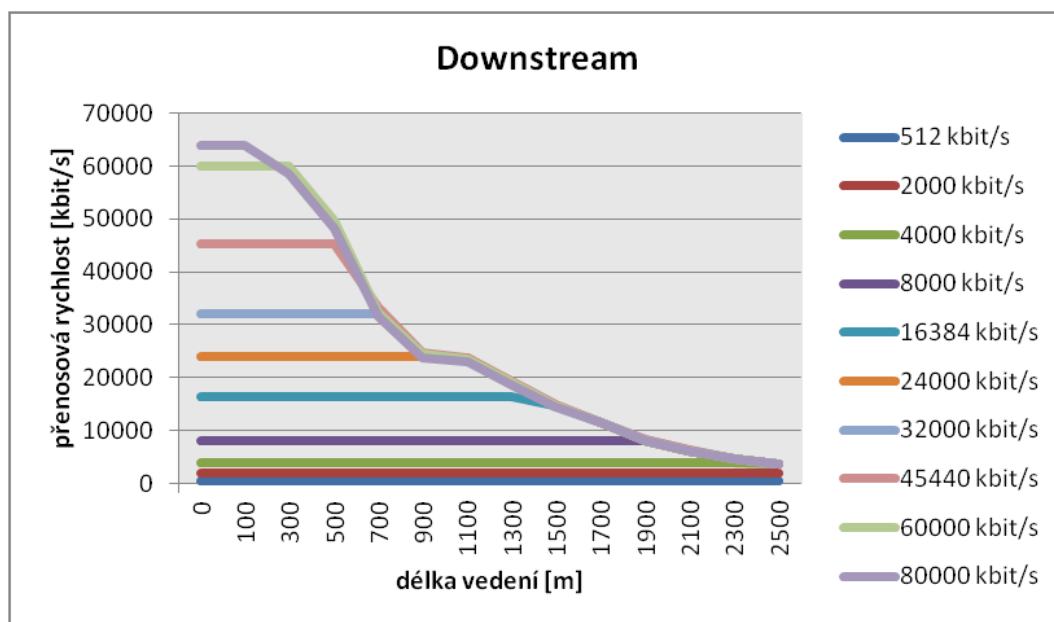
Získání celkové vstupní závislosti pro podrobnou analýzu závislosti přenosových rychlostí na délce vedení bylo provedeno na základě zjišťování přenosových rychlostí vyhodnocených modemem v závislosti na zvětšující se délce vedení. V celé práci bude v grafech použita stupnice s délkou vedení nastavenou na simulátoru vedení. V případě měření s nulovou délkou vedení a realizaci v učebně EB215 je potřeba počítat s délkou spoju cca 20m. V případě měření, kdy je do měřené trasy zařazen simulátor vedení je potřeba počítat s faktem, že tento simulátor se nachází v jiné místnosti a k jednotlivým délkám budeme tedy přičítat 20 m vedení v místnosti a cca 60 m délky vedení mezi místnostmi. V rámci toho, že se jedná v součtu o max. 80 m délky vedení, budeme tento fakt během zkoumání zanedbávat. Viz Příloha A:



Obrázek 4.8: Vliv délky účastnického vedení na jednotlivé přenosové rychlosti - upstream

Na výše uvedeném grafu obr. 4.8 můžeme vidět, jak jsou ovlivňovány jednotlivé přenosové rychlosti portů DSLAMu. Přenosové rychlosti pro upstream jsou daleko více ovlivňovány délkou účastnického vedení, než tomu bude u downstreamových rychlostí. To je způsobeno faktem, že přenosové pásmo pro upstream je přenášeno ve vyšším kmitočtovém pásmu, které trpí větším ovlivněním.

Zde můžeme sice vidět stálost přenosových rychlostí až do vzdálenosti cca 400 m, avšak u takřka všech přenosových rychlostí následuje strmý pokles, který se nachází v rozmezí od 400 m do 800 m. Identifikujeme také, že nejvyšší přenosové rychlosti vykazují téměř nulový pokles přenosových rychlostí v závislosti na délce vedení.



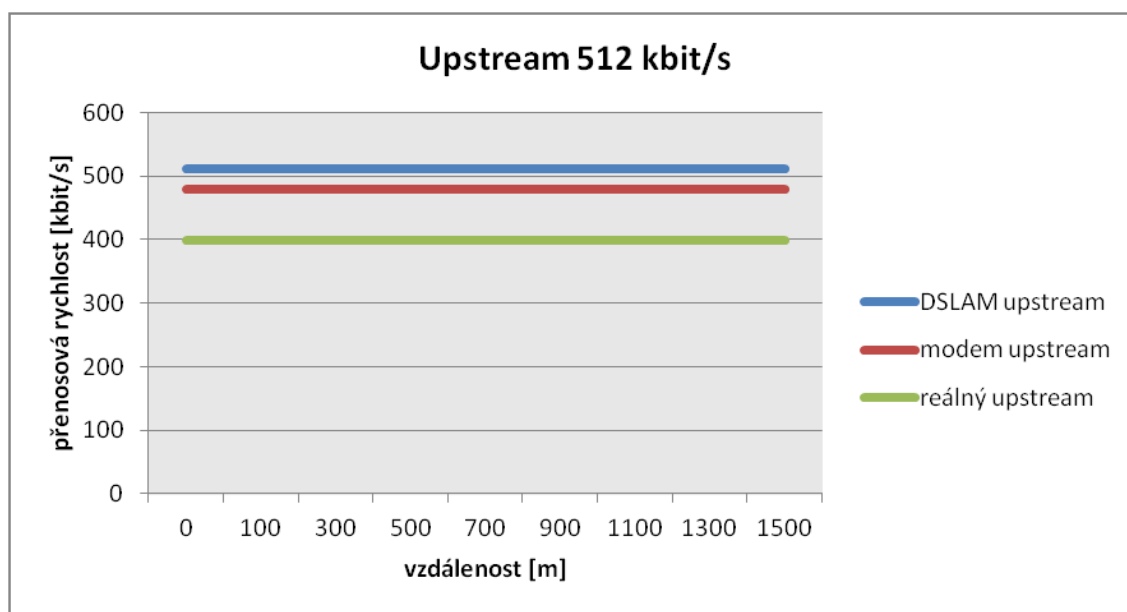
Obrázek 4.9: Vliv délky účastnického vedení na jednotlivé přenosové rychlosti - downstream

Na obrázku 4.8 jsme si udělali představu o závislosti přenosových rychlostí na délce účastnického vedení pro přenosový směr upstream a nyní si rozebereme stejnou závislost, avšak pro přenosový směr downstream.

Z výše uvedeného průběhu přenosových rychlostí pro přenosový směr downstream, viz obr. 4.9, můžeme vidět, že přenosové rychlosti jsou do vzdálenosti 100 m bez jakékoliv změny. Nutno říci, že hodnoty přenosových rychlostí jsou zjišťovány připojením se do modemu, avšak tyto hodnoty plně korespondují s reálnými datovými rychlostmi.

S narůstající délkou účastnického vedení můžeme vidět, že vyšší přenosové rychlosti jsou ovlivňovány takřka okamžitě, a to již při délce vedení 200 m. Jako bod zlomu oněch vyšších přenosových rychlostí lze považovat délku vedení v rozmezí od 500 m do 900 m, kde dochází k největšímu poklesu přenosových rychlostí. Oproti tomu nižší přenosové rychlosti jsou takřka neměnné v závislosti na délce vedení. Příkladem budiž přenosová rychlost 480 kbit/s a 1952 kbit/s, které netrpí poklesem přenosových rychlostí ani na vzdálenosti 2500 m. Bližší rozbor jednotlivých závislostí přenosových rychlostí na délce vedení bude v práci níže.

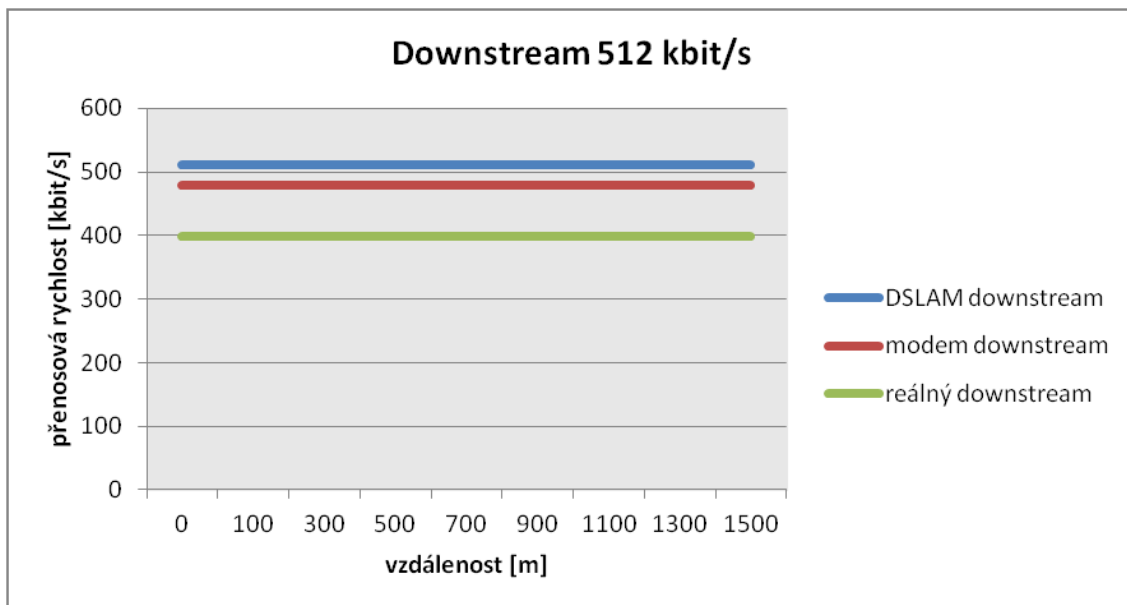
4.7 Vliv délky účastnického vedení na přenosovou rychlost



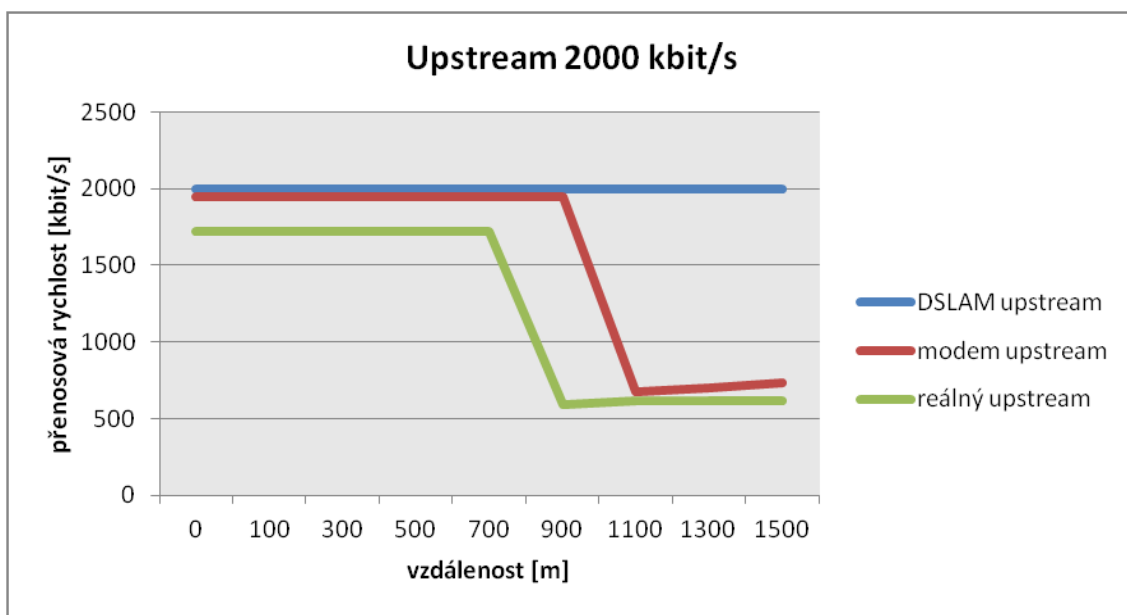
Obrázek 4.10: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 512 kbit/s - upstream

Na výše a níže uvedeném obrázku 4.10 a 4.11 je možné vidět graficky, k jakým změnám přenosových rychlostí dochází. V tomto případě se jedná o přípojku se symetricky nastavenou přenosovou rychlostí 512 kbit/s na DSLAMu. K prvnímu poklesu přenosových rychlostí dochází při zjištění přenosových parametrů na modemu. Ten již vykazuje pokles na symetrických 480 kbit/s pro oba přenosové směry. Když se však podíváme na reálné rychlosti zjištěné při datových přenosech, tak zde identifikujeme další pokles přenosových rychlostí na hodnoty v okolí 400 kbit/s. Ke všem těmto poklesům však došlo v nezávislosti na změnách délky účastnického vedení, čímž můžeme konstatovat, že tato konfigurace s nejnižší přenosovou rychlostí se ukázala jako nezávislá na délce vedení. Při dalším zkoumání se ukázalo, že s těmito přenosovými parametry byla přípojka schopna pracovat až do

vzdálenosti 2500 m. Jak si ukážeme dále, tak tato přípojka jako jediná dosahovala těchto přenosových parametrů.



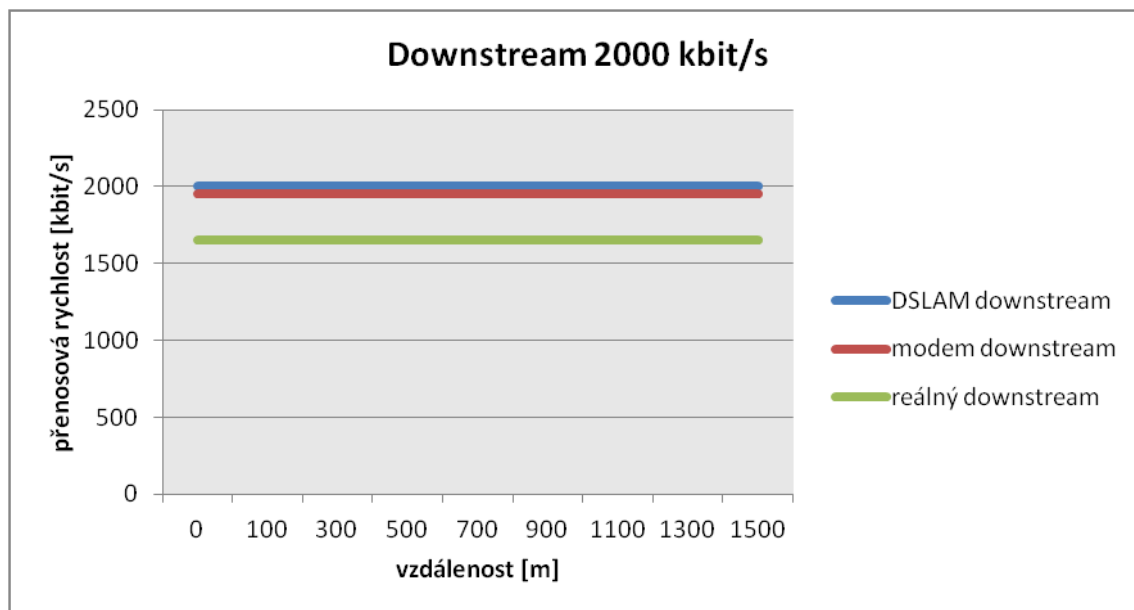
Obrázek 4.11: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 512 kbit/s - downstream



Obrázek 4.12: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 2000 kbit/s - upstream

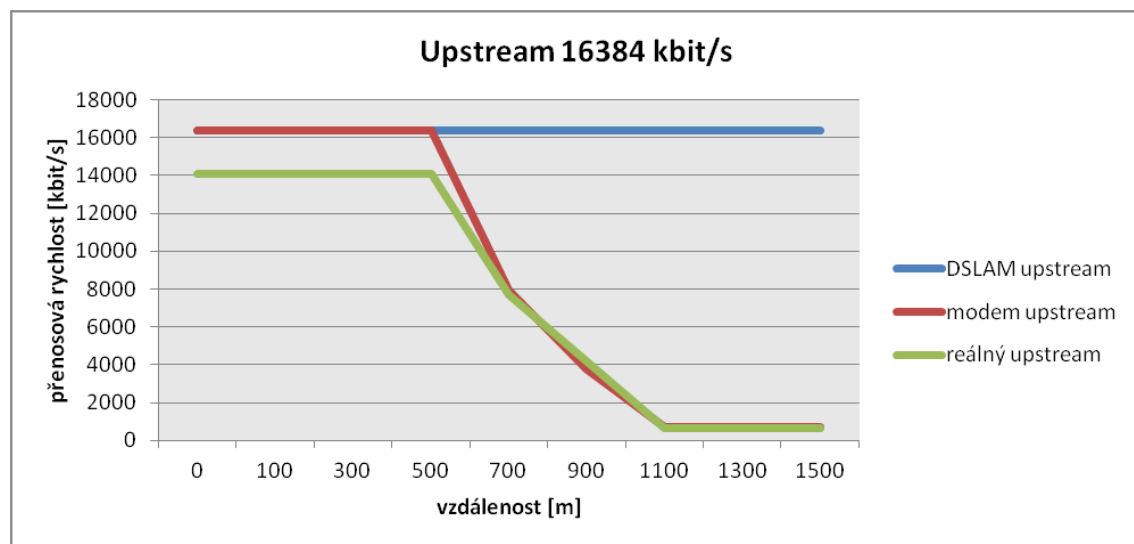
V tomto případě bylo zvoleno opět symetrické nastavení přenosových rychlostí na DSLAMu, avšak přenosové rychlosti jsou čtyřnásobné oproti předchozí zkoumané, v této konfiguraci symetrických 2000 kbit/s. Jak můžeme vidět na obrázku 4.12, tak zde dochází opět k poklesu přenosové rychlosti a to: z 2000 kbit/s DSLAMu na 1952 kbit/s na modemu. Co se týče reálné přenosové rychlosti, tak se zde pohybujeme v okolí 1750 kbit/s, avšak již pozorujeme pokles přenosové rychlosti vlivem délky účastnického vedení. K tomuto poklesu dochází na délce vedení

700 m, přičemž k vyhodnocení nižší přenosové rychlosti na modemu dochází až na 900 m. Dále se pak přenosová rychlost drží v okolí 615 kbit/s.



Obrázek 4.13: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 2000 kbit/s - downstream

Oproti předešlému grafu, na kterém byla vyobrazena závislost rychlostí pro upstream, tak downstreamová závislost má chování zcela odlišného charakteru. Zde se reálná přenosová rychlost pohybuje v okolí 1650 kbit/s, a nezaznamenáváme žádný větší pokles vlivem délky účastnického vedení, jako tomu bylo v případě upstreamové závislosti, viz obr. 4.13. Přenosovou rychlost můžeme tedy považovat za stálou a nezávislou na délce přenosového vedení.

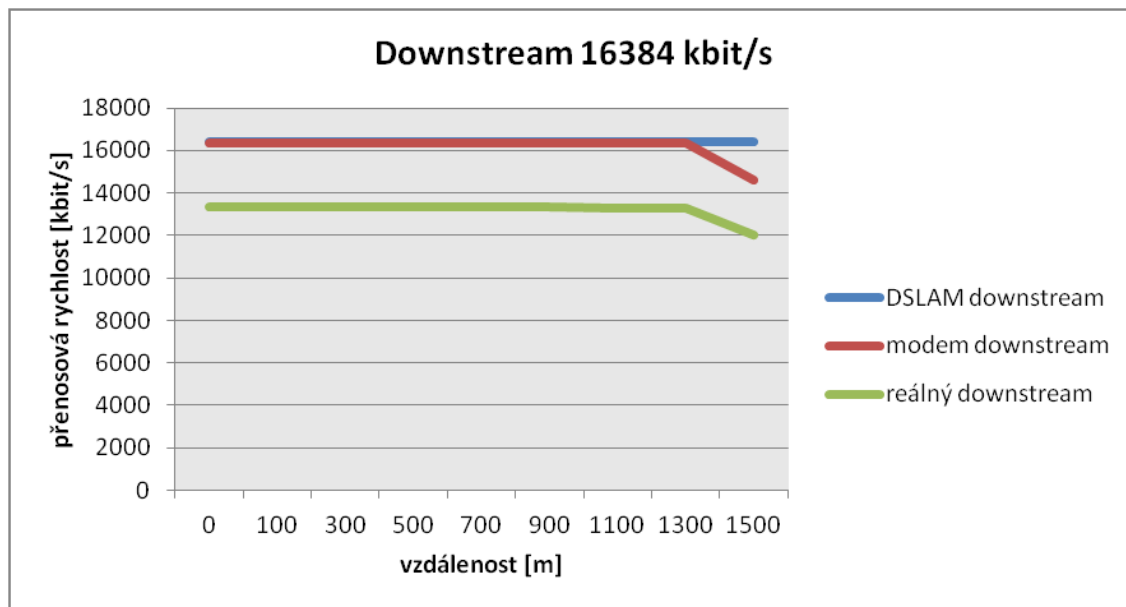


Obrázek 4.14: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 16384 kbit/s - upstream

Na obrázku 4.14 můžeme vidět, jak se nám opět snížila vzdálenost, na které dochází k prvnímu poklesu přenosové rychlosti. V předchozím případě, kde jsme sledovali závislost, se jednalo o přípojku s 2000 kbit/s, kde docházelo k poklesu pro přenosový směr upstream a detekovali

jsme pokles přenosové rychlosti na délce vedení 700 m. Nyní zkoumáme stejnou závislost avšak pro přenosovou rychlost 16 384 kbit/s a zde identifikujeme pokles již na délce vedení 500 m. Tento pokles zaznamenáváme se stejnou tendencí, až do vzdálenosti 1100 m odkud se již přenosová rychlost stabilně drží v okolí 615 kbit/s.

Oproti předchozímu případu můžeme konstatovat, že rozdíl mezi reálnou přenosovou rychlostí a rychlostí vyhodnocenou modemem se snižuje a křivky se k sobě přiblížily a ve velké části se překrývaly.

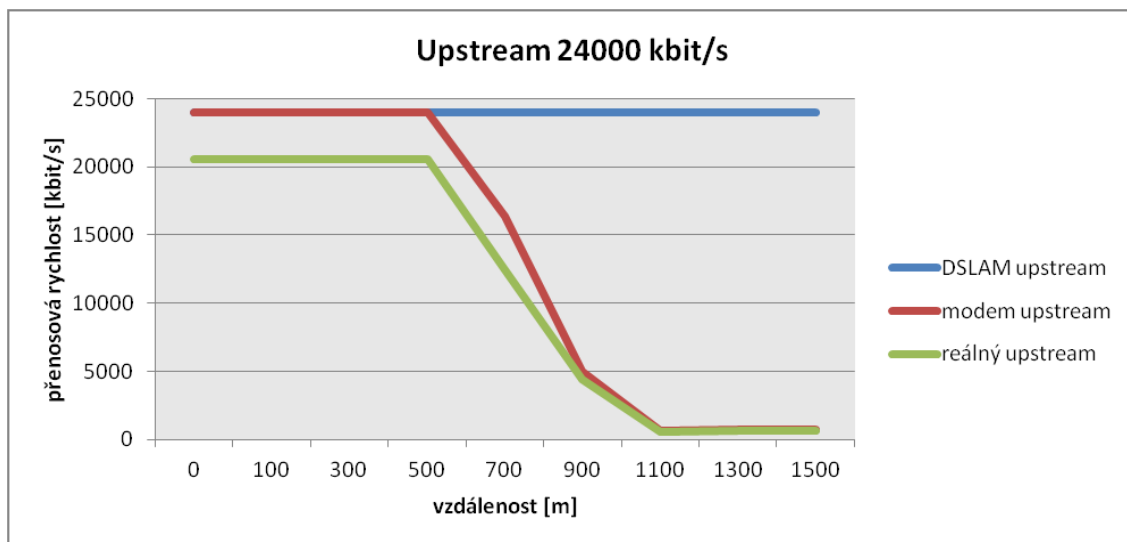


Obrázek 4.15: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 16384 kbit/s - downstream

Na výše uvedeném grafu, viz obr. 4.15, opět vidíme, že situace závislosti přenosové rychlosti na délce vedení pro přenosový směr downstream má odlišné chování oproti závislosti pro přenosový směr upstream.

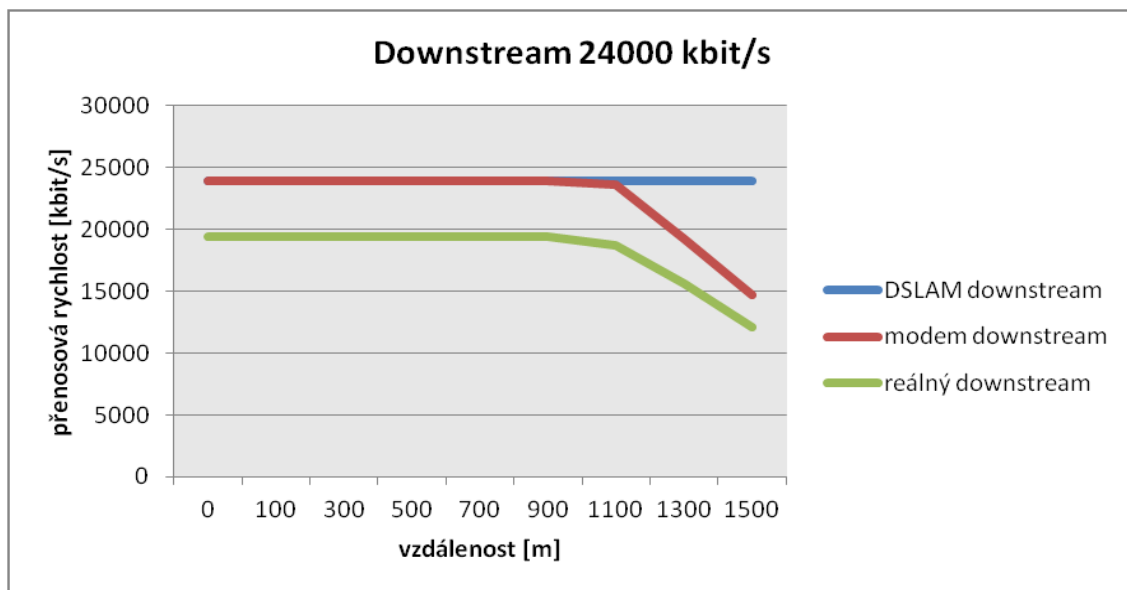
Zde identifikujeme, že k poklesu přenosové rychlosti dochází až na délce účastnického vedení 1300 m, kde však i tak není pokles tak markantní, jako tomu bylo u stejné přenosové rychlosti pro upstream. Vidíme také, že na délce vedení 1500 m zjišťujeme stále reálnou přenosovou rychlost v okolí 12100 kbit/s. Co je zde, však daleko patrnější, je rozdíl mezi reálnou přenosovou rychlostí a zjištěnou rychlostí na modemu, kde se režie provozu pohybuje v okolí 3 Mbit/s.

Na obrázku 4.16 vidíme závislost přenosové rychlosti 24000 kbit/s na délce vedení pro přenosový směr upstream. Pozorujeme zde, že přenosová charakteristika se oproti předchozímu měření, kde jsme zkoumali závislost pro 16384 kbit/s moc nezměnila. Skokový pokles opět pozorujeme na délce vedení 500 m, avšak pokles je o trochu strmější a přenosová rychlost postupně klesá až do vzdálenosti 1100 m. Tam se ustaluje na hodnotách v okolí 615 kbit/s, a to až do vzdálenosti 1500 m.

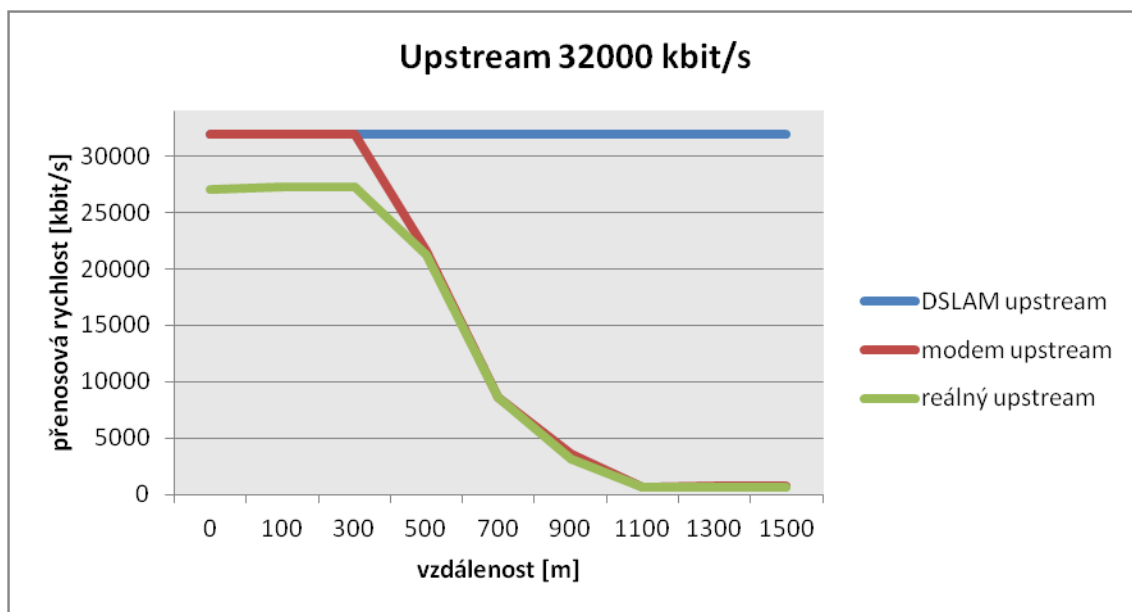


Obrázek 4.16: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 24000 kbit/s - upstream

Obrázek 4.17 ukazuje, jak dochází k poklesu přenosové rychlosti 24 000 kbit/s přípojky. Můžeme si všimnout, že charakteristika je podobná jako v předchozích případech, a sice že bez jakéhokoli omezení přenosové rychlosti je přípojka schopna pracovat až do vzdálenosti 900 m. Avšak oproti předchozím případům je odlišné to, že se nám již zkracuje délka, při které dochází k onomu prvnímu poklesu. K poklesu přenosové rychlosti dochází v oblasti od 900 m do 1500 m. Tento pokles není tak strmý jako v předchozích případech, ale i tak na délce vedení 1500 m shledáváme rychlost v okolí 12 100 kbit/s. To znamená, že z původních 24 000 kbit/s, jsme na této délce schopni dosáhnout 50 % přenosové rychlosti oproti poskytované. To se v rámci celkových výsledků ukáže jako poměrně dobrý výsledek.

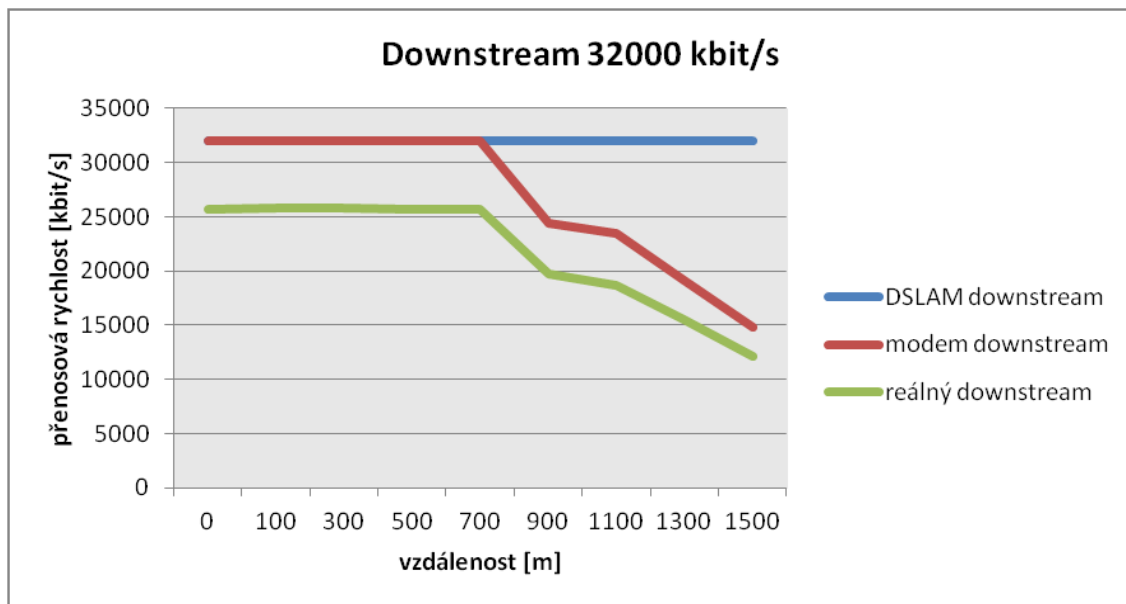


Obrázek 4.17: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 24000 kbit/s - upstream



Obrázek 4.18: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 32000 kbit/s - upstream

Na obrázku 4.18 vidíme, že se nám opět zkrátila vzdálenost, na které nedochází k poklesu přenosové rychlosti. V tomto případě se vzdálenost zkrátila oproti přichozím 500 m u 32000 kbit/s přípojky na již pouhých 300 m. Zbytek přenosové charakteristiky je poměrně stálý a na konci přenosové trasy je přenosová rychlost opět v okolí 615 kbit/s.



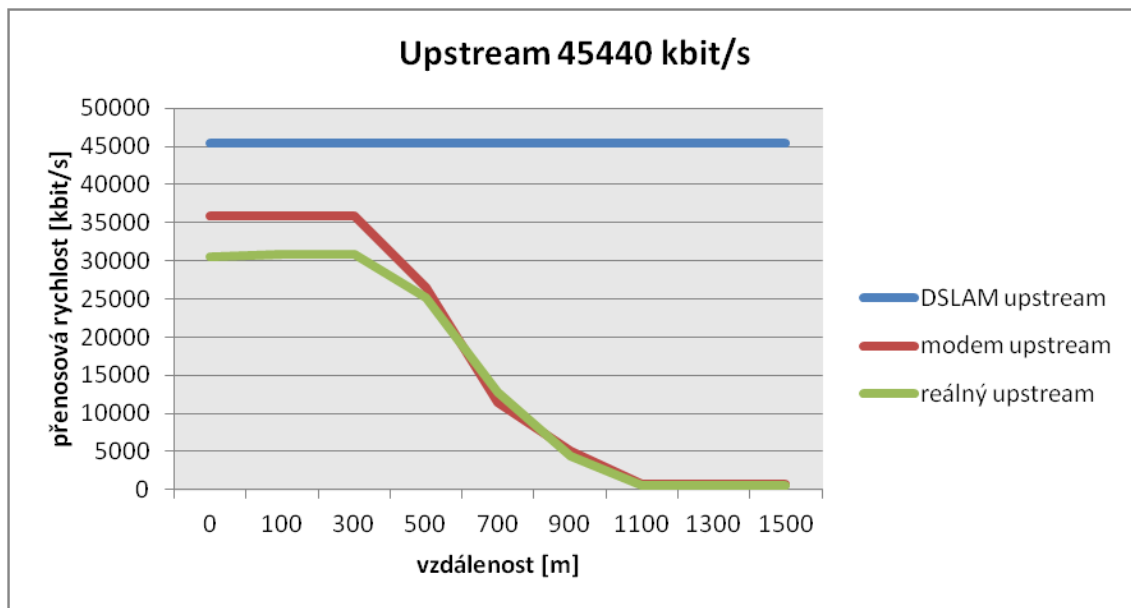
Obrázek 4.19: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 32000 kbit/s - downstream

V tomto případě se jedná o přípojku s 32000 kbit/s pro přenosový směr downstream, zde vidíme, že na režii provozu spotřebovává systém cca 6 Mbit/s i při minimální délce vedení, viz obr. 4.19. K poklesu přenosové rychlosti v tomto případě dochází při délce vedení 700 m odkud je

pokles nejprůkřejší. Od 900 m do 1100 m je pokles přenosové rychlosti poněkud mírnější a od 1100 m do 1500 m je pokles již stejnoměrný. Ve vzdálenosti 1500 m jsme již detekovali přenosovou rychlost v okolí 12 200 kbit/s.

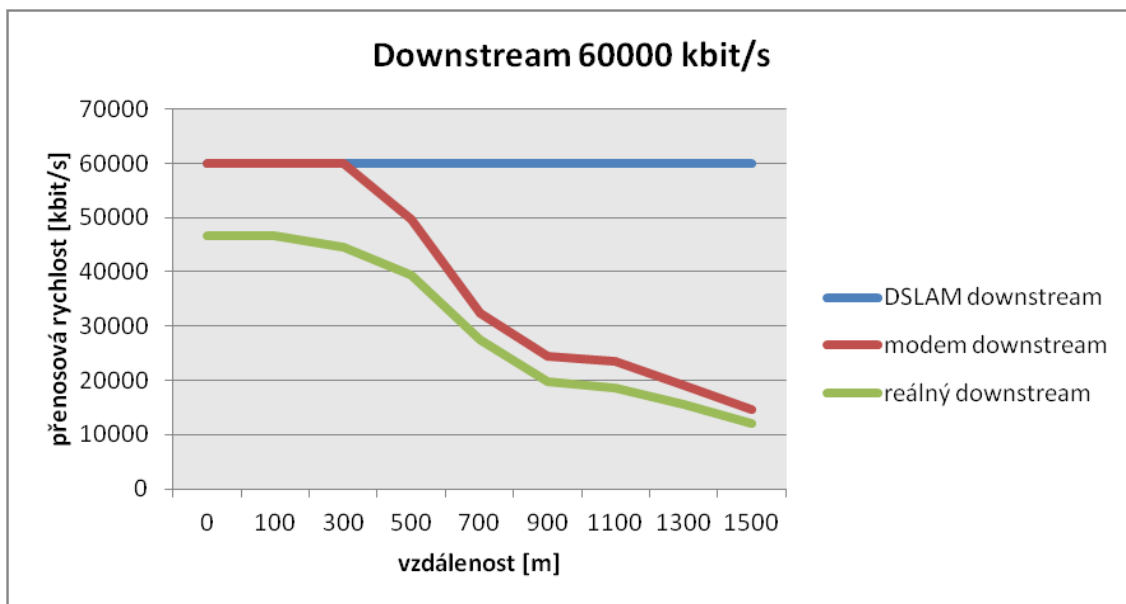
Tedy z původních 32 000 kbit/s a s délkou vedení 1500 m, jsme byli schopni přenášet soubory s přenosovou rychlostí 12000 kbit/s což vykazuje pokles 20000 kbit/s na 1500 m délky vedení.

Nyní se podíváme, jaká situace nastává v případě, kdy máme k dispozici asymetrické přenosové rychlosti, viz obr. 4.20. Jedná se o přípojku s druhou nejvýše nastavenou konfigurací přenosové rychlosti v rámci zpracovávaných měření.



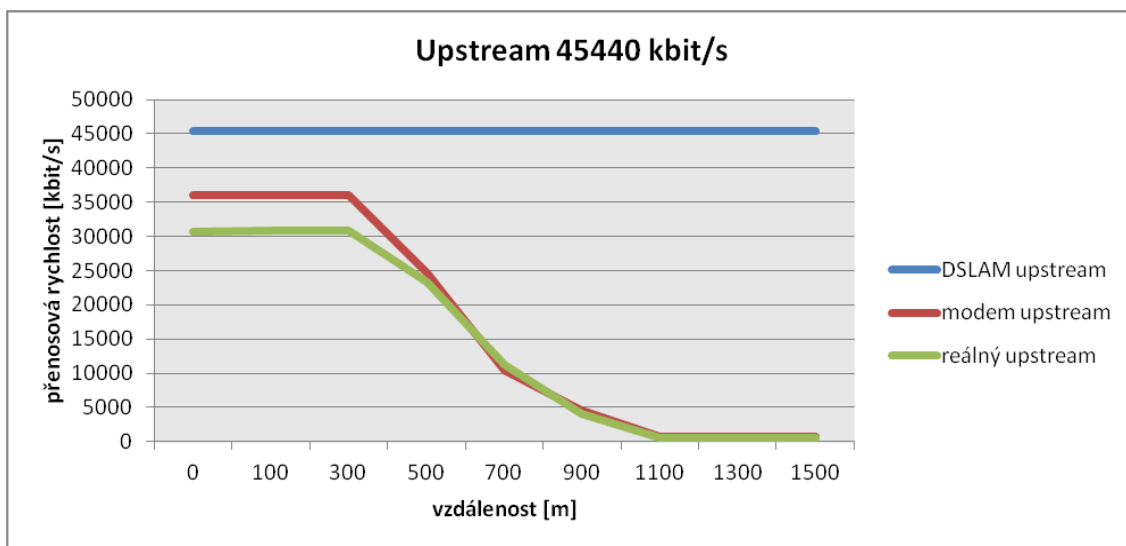
Obrázek 4.20: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 45440 kbit/s - upstream

Na obrázku 4.20 vidíme, jak docházelo k poklesu přenosové rychlosti u 45440 kbit/s přípojky. K prvnímu poklesu došlo již ve vzdálenosti 300 m od přípojného místa, odkud docházelo ke strmému poklesu přenosové rychlosti až do vzdálenosti vedení 1100 m, kde se přenosová rychlost ustálila na hodnotách v okolí 615 kbit/s.



Obrázek 4.21: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 60000 kbit/s - downstream

Podíváme-li se na chování poklesu přenosové rychlosti v případě 60000 kbit/s přípojky pro přenosový směr downstream, tak vidíme, že k poklesu dochází takřka okamžitě, a to již na pouhých 100 m délky vedení, viz obr. 4.22. Na konci měřené trasy 1500 m detekujeme přenosovou rychlost v okolí 12100 kbit/s, což je v tomto případě pětina přenosové rychlosti nastavené na DSLAMu.

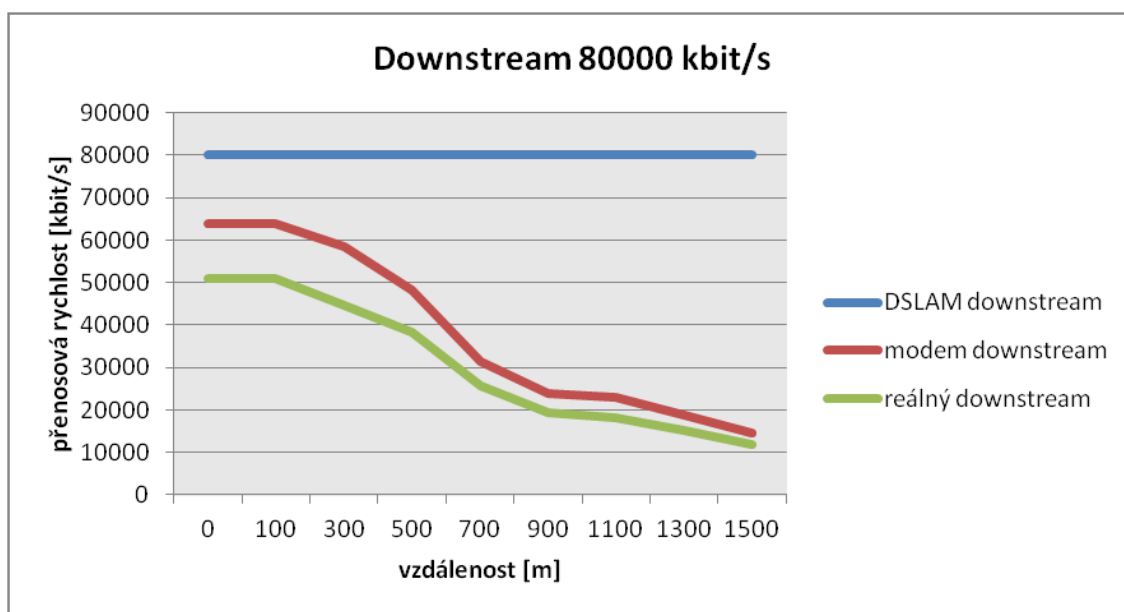


Obrázek 4.22: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 45440 kbit/s - upstream

Na výše uvedeném grafu můžeme vidět, jak se obrovským způsobem zvětšil vliv délky účastnického vedení na přenosovou rychlost, viz obr. 4.21. U malých přenosových rychlostí jsme nepozorovali žádnou anebo minimální závislost, která se ale postupným zvyšováním přenosové rychlosti také navyšovala.

Nyní můžeme vidět, že pokud bychom se nacházeli ve vzdálenosti do cca 300 m od přípojného místa, tak bychom nepocíťovali téměř žádné změny. Od této vzdálenosti však následuje strmý pokles přenosové rychlosti, kde v rozmezí od 400 m do 700 m pozorujeme pokles, který znamená: sto metrů délky vedení navíc, to téměř 10 Mbit/s ztráta přenosové rychlosti. Tento rapidní pokles již dále není tak markantní a ve vzdálenosti 1100 m se ustaluje přenosová rychlost na hladině cca 615 kbit/s.

V tuto chvíli kdybychom si objednali službu s rychlostí 45 Mbit/s, tak za tuto službu si náležitě platíme a vlivem délky účastnického vedení můžeme očekávat parametry své přípojky dle výše uvedené grafické závislosti.



Obrázek 4.23: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce vedení u přípojky 80000 kbit/s - downstream

V tomto případě jsme na vrcholu zkoumaných přenosných rychlostí, a tedy vidíme závislost délky vedení u 80000 kbit/s přípojky pro přenosový směr downstream. Zde vidíme, že již po 100 m délky účastnického vedení dochází k poklesu přenosové rychlosti. Do 900 m je pokles poměrně razantní, kdy ve vzdálenosti 900 m zjišťujeme přenosovou rychlost v okolí 19200 kbit/s. Dále následuje pokles s mírnějším propadem, ale i přesto ve vzdálenosti 1500 m detekujeme přenosovou rychlost v okolí 12100 kbit/s. Opět tedy dochází k situaci, kdy si zákazník může dovolit královsky placené připojení k internetu avšak realita v podobě rychlosti okleštěné vlivem vzdálenosti účastníka od ústředny je na první pohled patrná. Viz. Příloha E:

5 Vliv přeslechů na digitální účastnickou smyčku

Cílem druhého prováděného měření je ověřit závislost přeslechů, v našem případě se jedná zejména o popsání vlivu přeslechu typu NEXT. Při tomto měření dochází opět k přenosu datových souborů mezi serverovou a klientskou částí avšak počet koncových stanic, které vysílají současně v jeden okamžik, postupně narůstá. Výsledkem tohoto měření je závislost přenosové rychlosti na počtu současně komunikujících stanic. V tomto případě se jedná o primární účinek přeslechu typu NEXT.

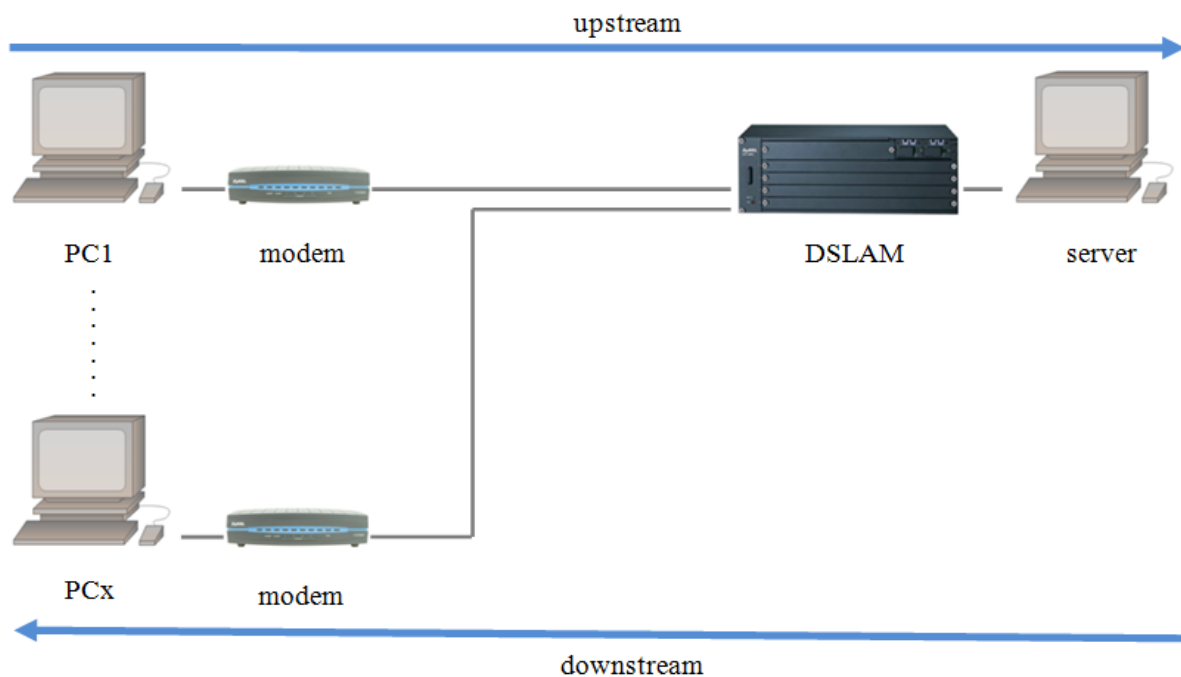
5.1 Metodika prováděných měření vlivu přeslechů

Testování je prováděno na základě porovnávání několika parametrů. Jako referenční hodnoty jsou zaznamenány přenosové rychlosti jednotlivých portů DSLAMu, kde v jeden okamžik dochází ke komunikaci právě jedné stanice. Následně byl zvyšován počet stanic, které ve stejný okamžik prováděly datové přenosy.

V rámci měření jsou zvoleny vždy čtveřice stanic s předem definovanými parametry a na nich je snaha vysledovat onu závislost.

5.2 Schéma měření a použité měřicí přístroje pro měření vlivu přeslechů

V rámci tohoto měření byla zkoumána závislost velikosti přeslechů na počtu komunikujících stanic v laboratoři. Měření byla prováděna dle schématu, viz obr. 5.1, a stejným postupem jako v případě zkoumání délky závislosti přenosového média, tedy s využitím programu c-kermi. Tento postup již v práci popsán je a tedy se na něj budeme odkazovat.

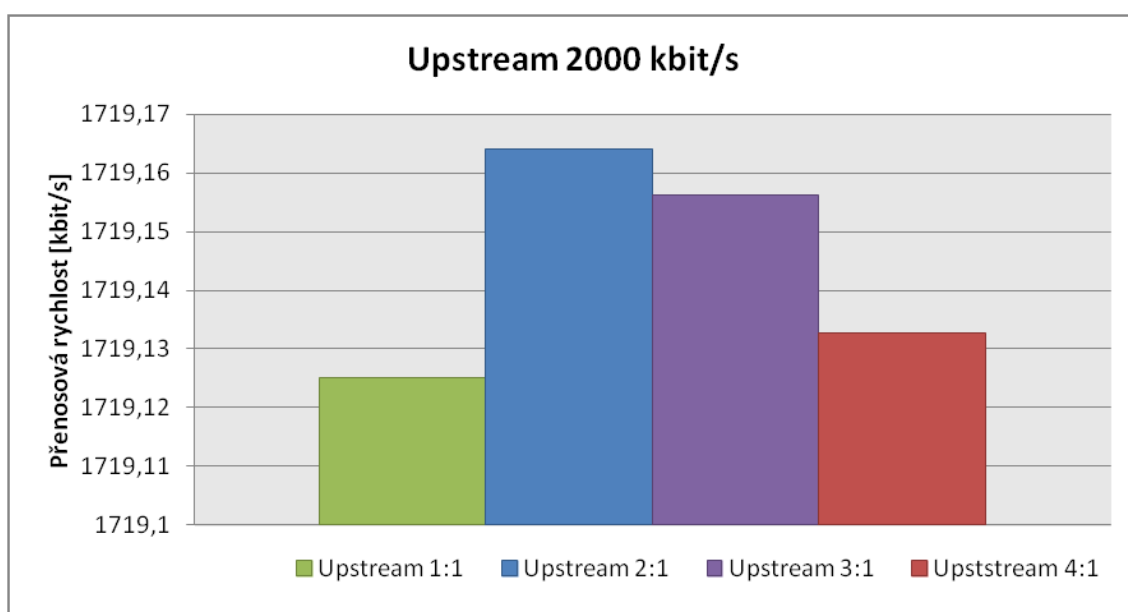


Obrázek 5.1: Schéma zapojení pro testování vlivu přeslechů

5.3 Postup měření vlivu přeslechů

Při testování docházelo k postupnému nárůstu současně komunikujících stanic. V našem případě jsme začínali s jednou komunikující stanicí a končili se čtyřmi. Dle teoretických předpokladů jsme předpokládali, že dojde vlivem přeslechů, zejména typu NEXT, k poklesu přenosových rychlostí u komunikujících stanic. Tak se však nestalo a tento stav byl způsoben faktem, že každá komunikující stanice byla k DSLAMu připojena vlastním odděleným kabelem, který i když byl umístěn ve společné chráničce, tak zde nedocházelo k vzájemnému ovlivňování jednotlivých párů. Když už došlo k nějakým změnám, tak tyto změny byly v řádech setin kbit/s což už v našich podmínkách nelze považovat za prokazatelnou souvislost.

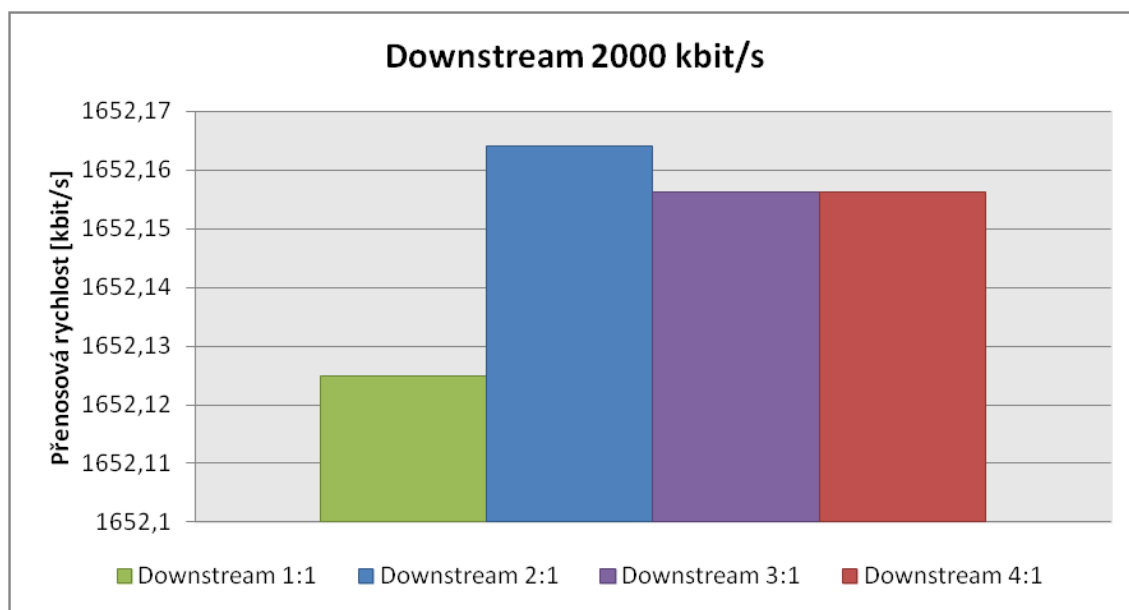
5.4 Vliv přeslechů na přenosovou rychlost



Obrázek 5.2: Graf závislosti přeslechů na počtu současně komunikujících stanic - upstream

Na výše uvedeném grafu, viz obr. 5.2, můžeme vidět, jak docházelo v rámci měření k ovlivňování přenosových rychlostí pracovní stanice připojené na port č. 3 DSLAMu se symetricky nastavenou přenosovou rychlostí 2000/2000 kbit/s. Změny v přenosových rychlostech jsou v řádech setin kbit/s. V několika měřeních jsme se však setkali i se závěry, kdy se zvyšujícím se počtem komunikujících stanic docházelo k mírnému nárůstu přenosových rychlostí. V rámci laboratorních podmínek jsme byli tedy nuceni dojít k závěru, že vliv přeslechů nejsme za těchto podmínek schopni detekovat a měřit. Viz Příloha B:

Na obrázku 5.3 je vyobrazen graf změn přenosové rychlosti 2000 kbit/s přípojky pro přenosový směr downstream. Na grafu můžeme opět vidět, že při komunikaci jedné stanice zjišťujeme o něco nižší přenosovou rychlost než je tomu v případě komunikace více stanic najednou. Při komunikaci dvou a více stanic již opět spatřujeme mírný pokles přenosové rychlosti, ale opět jsou to pouze setiny kbit/s.



Obrázek 5.3: *Graf závislosti přeslechů na počtu současně komunikujících stanic - downstream*

6 Vliv aditivního bílého šumu na digitální účastnickou smyčku

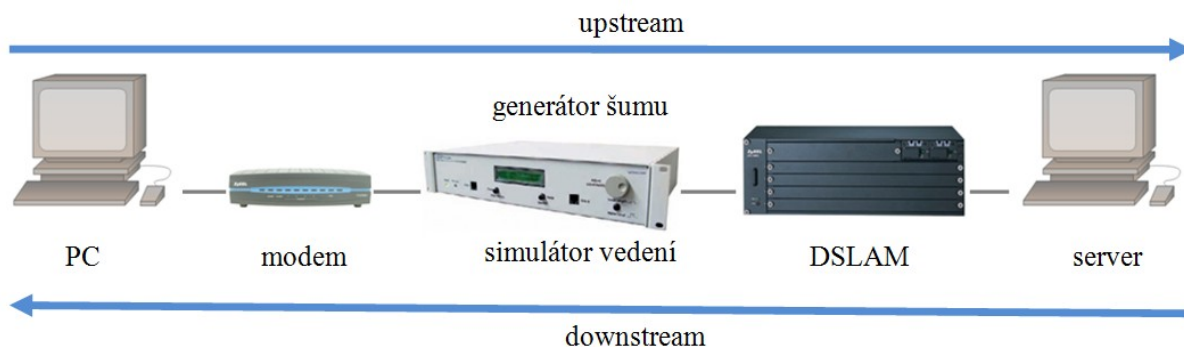
Poslední zkoumanou závislostí je vliv aditivního bílého šumu, který je aplikován na přenosovou trasu s přidanou délkou vedení 500 m. V tomto případě jsou porovnávány hodnoty z měření stejné konfigurace, avšak bez účinku šumu, a zjištěné výsledky při použití generátoru šumu o různých úrovních.

6.1 Metodika prováděných měření vlivu AWGN

Metodika je založena na zkoumání odchylek přenosových rychlostí v závislosti na zvolené úrovni šumu. Výstupem těchto měření jsou sloupcové grafy poklesu přenosových rychlostí pro dané přenosové směry a vybrané nastavení přenosových portů DSLAMu.

6.2 Schéma měření a použité měřicí přístroje při měření vlivu AWGN

Schéma měření, viz obr. 6.1, se skládá z těchto částí: počítačová stanice, modem, simulátor vedení a generátor šumu v jednom, DSLAM a serverová část v podobě druhého PC.



Obrázek 6.1: Schéma zapojení pro zjišťování projevů bílého aditivního šumu

6.3 Nastavené parametry při měření vlivu AWGN

Během tohoto měření byly na účastnickou přípojku aplikovány účinky bílého aditivního šumu. Ten byl na vedení nasazován o úrovních -140 dB, -130 dB, -120 dB, -110 dB a -100 dB. Kromě tohoto rušení byla také staticky nastavena délka vedení na 500 m simulovaných, ale cca 580 m měřila celá účastnická smyčka.

6.4 Postup měření vlivu AWGN

Ke zjišťování přenosových parametrů bylo opět využito stejného postupu jako v případě zjišťování závislosti přenosových rychlostí na délce vedení, viz kapitola 4, a sice byly přenášeny binární soubory, v tomto případě o velikosti 10 Mbit, na zvolené délce vedení a definovaných úrovních šumu. V tomto případě byla zvolená jako testovací délka vedení cca 500 m a na této délce byly aplikovány jednotlivé úrovně bílého aditivního šumu. Nejprve byly zjištěny referenční hodnoty,

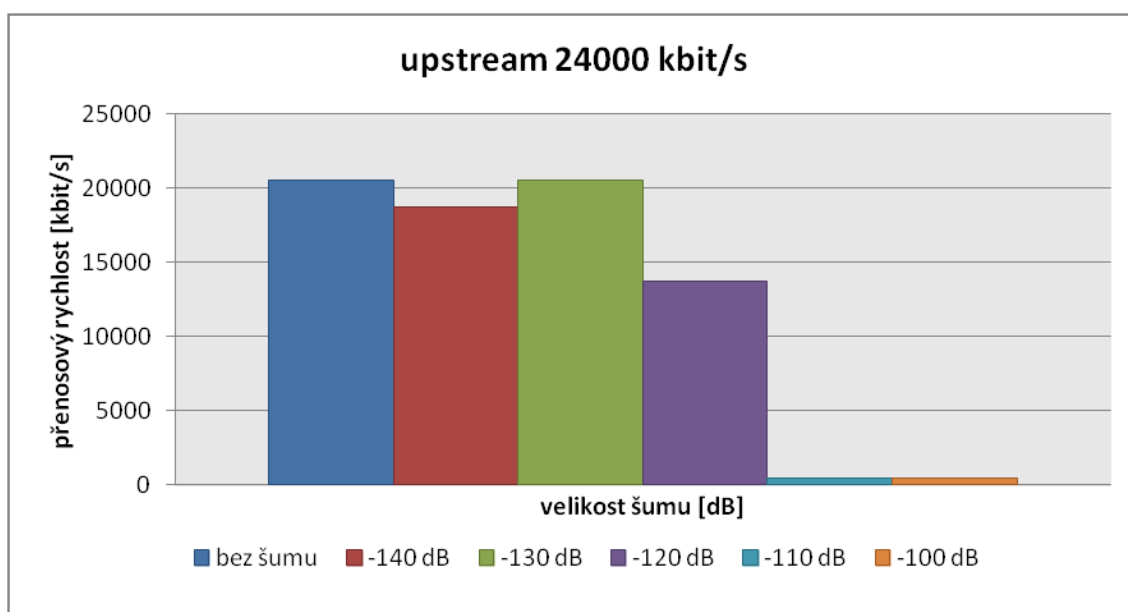
a sice měřením na dané přenosové trase, ale bez aplikace šumu. Tyto hodnoty jsou v měření považovány jako výchozí (referenční).

6.5 Získání referenčních hodnot pro měření vlivu AWGN

Referenční hodnoty byly získány měřením dané konfigurace, tedy zvolených přenosových portů DSLAMu a zvolené délce vedení 500 m. Tato účastnická přípojka byla nejprve proměřena bez přidaného šumu a tyto hodnoty jsou tedy brány jako referenční.

6.6 Vliv aditivního bílého šumu na přenosovou rychlost

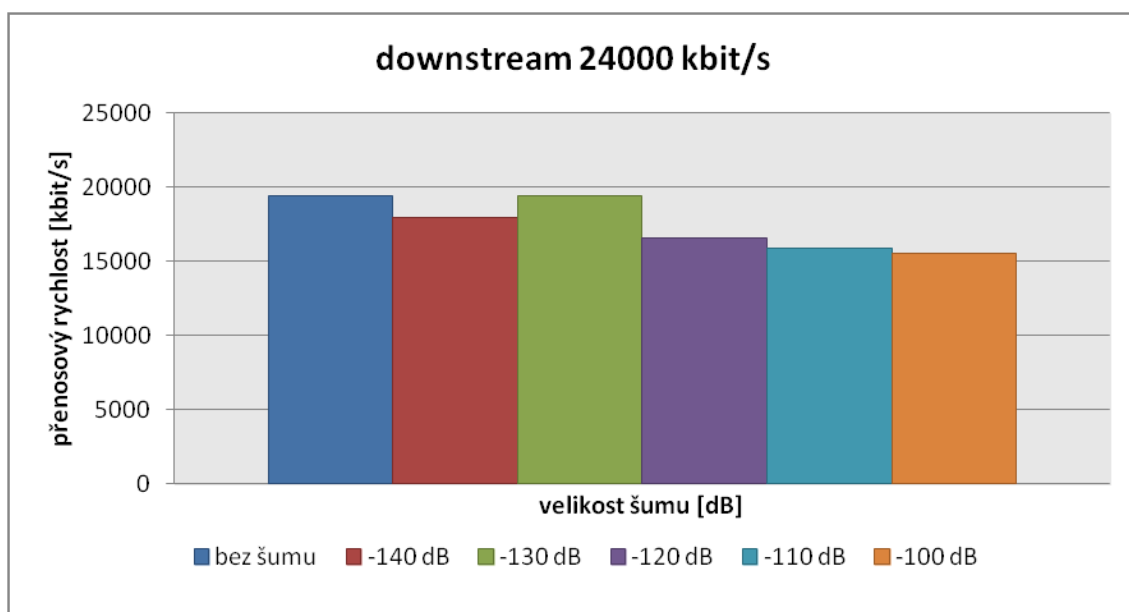
Na obrázku 6.2 je uvedena závislost přenosové rychlosti na dané délce vedení 500 m a různých úrovních bílého aditivního šumu pro přenosový směr upstream a přenosovou rychlost 24000 kbit/s.



Obrázek 6.2: *Závislost přenosové rychlosti 24000 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr upstream*

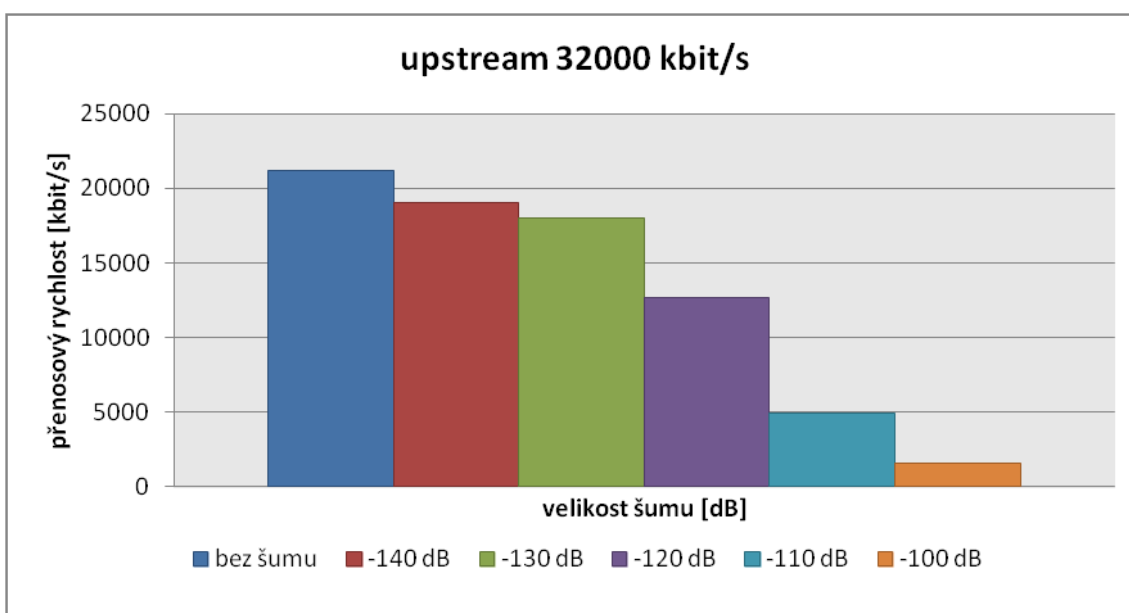
Na změřené závislosti můžeme vidět, jakým způsobem je ovlivňovaná přenosová rychlost, která na dané délce vedení 500 m klesá. Vezmeme-li jako referenční hodnotu hodnotu nastavenou na DSLAMu, pak budeme hovořit o oněch 24 Mbit/s.

Vlivem délky vedení a při nulovém zarušení šumem se dostáváme na úroveň okolo 20500 kbit/s. Pak můžeme na závislosti pozorovat mírný nárůst při aplikaci bílého aditivního šumu o úrovni -140 dB, který trvá až po úroveň -130 dB. Dále již pozorujeme strmý pokles, kdy se s úrovní šumu -120 dB dostáváme do okolí hodnot 13900 kbit/s, která však nabere největší strmost při změně úrovně šumu na -110 dB, kde se rázem dostáváme na úroveň přenosové rychlosti 430 kbit/s, odkud již rychlost dále neklesá i při úrovni šumu -100 dB.



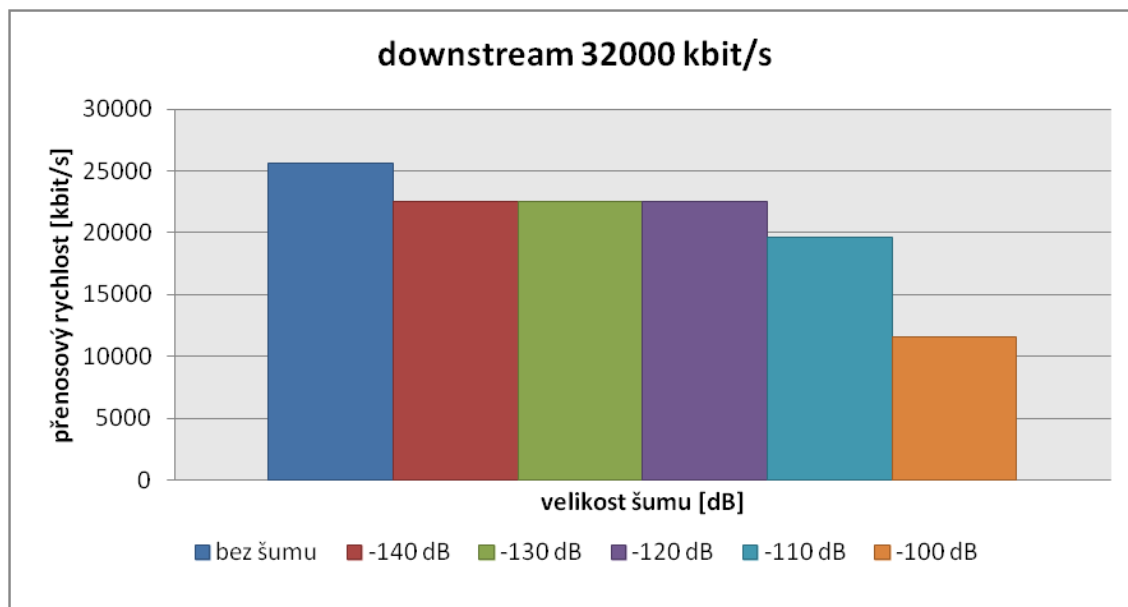
Obrázek 6.3: Závislost přenosové rychlosti 24000 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr downstream

Na obrázku 6.3 můžeme vidět chování přenosové rychlosti na stejném portu jako v případě popisované závislosti na obrázku 6.2, ale nyní sledujeme závislost pro přenosový směr downstream. Oproti předchozímu případu je situace zcela odlišná. Jak vidíme na grafu, tak vliv šumu v tomto případě není tak zásadní. Na začátku měření a tedy jako referenční hodnotu jsme zjistili hodnotu okolo 19500 kbit/s. Dále pak následuje mírný pokles při úrovni šumu -140 dB. Při aplikaci šumu o úrovni -130 dB vidíme mírný nárůst, ale dále následuje pozvolný pokles přenosové rychlosti. Při nejvyšší úrovni šumu měříme přenosovou rychlost v okolí 15600 kbit/s.



Obrázek 6.4: Závislost přenosové rychlosti 32000 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr upstream

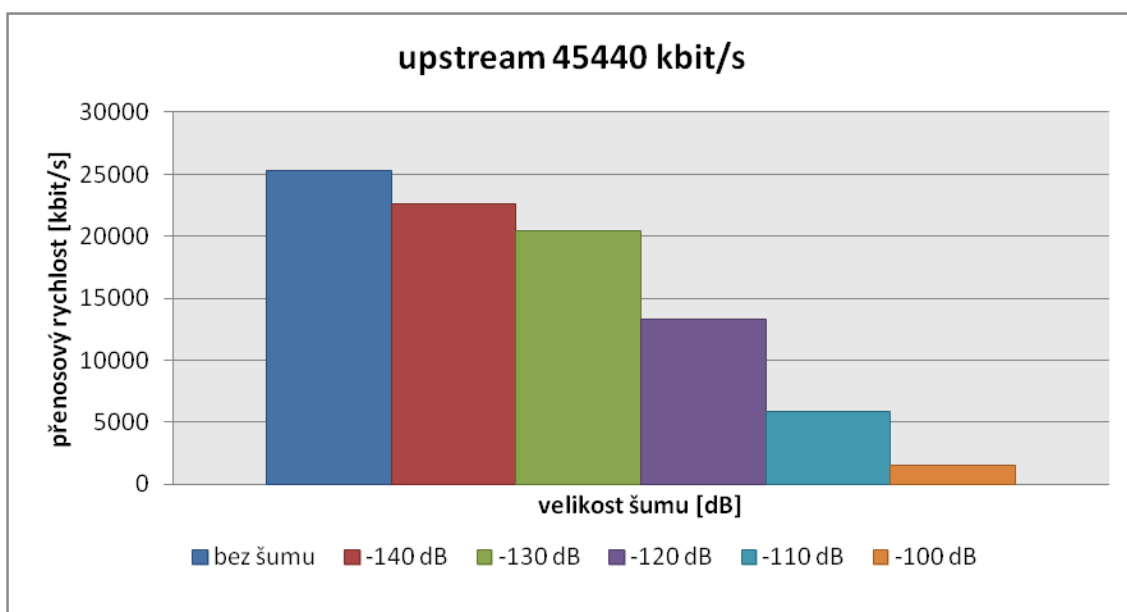
Obrázek 6.4 nám ukazuje, jak krásně schodově klesá přenosová rychlost u 32000 kbit/s přípojky. Na grafu můžeme vidět, že při nulovém zarušení signálu šumem se pohybujeme v okolí 21200 kbit/s. Již nejmenší možná aplikovatelná úroveň šumu -140 dB nám způsobuje, že na přípojce detekujeme pokles cca 2000 kbit/s. K největším propadům dochází u -120 dB a -110 dB, kde jsou poklesy mezi úrovněmi od 5000 kbit/s do 6000 kbit/s. Pokud aplikujeme na vedení nejvyšší možnou úroveň šumu, čili - 100 dB, tak přenosová rychlost pro upstream se pohybuje v okolí 1560 kbit/s.



Obrázek 6.5: *Závislost přenosové rychlosti 32000 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr downstream*

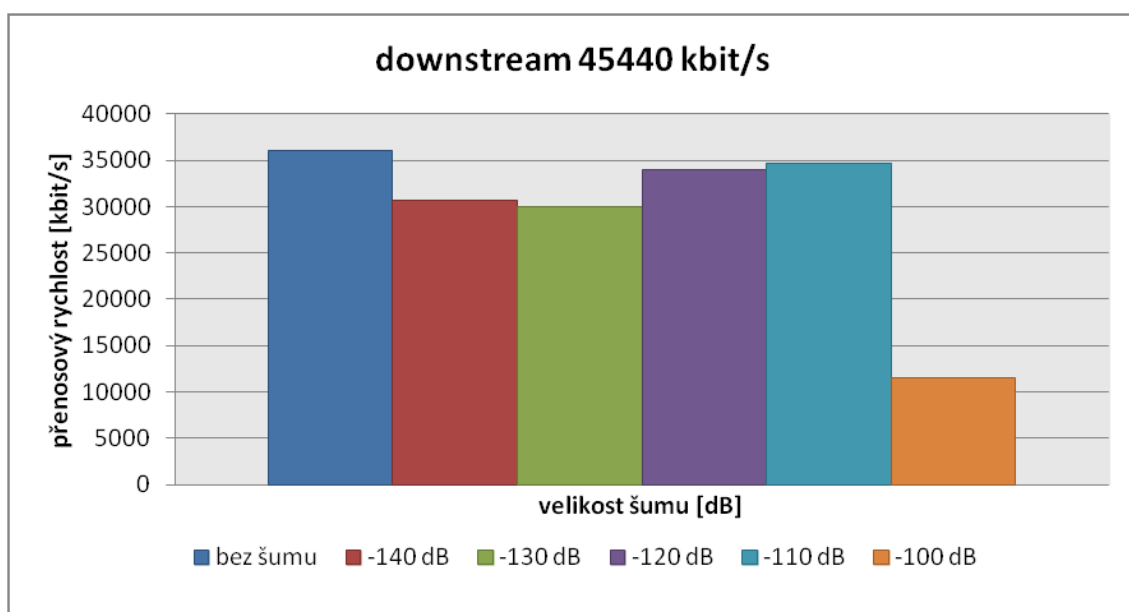
Na obrázku 6.5 můžeme vidět, že při rychlosti 32000 kbit/s dochází k poklesu přenosové rychlosti při aplikaci bílého aditivního šumu v rozmezí od -140 do -120 dB, při kterém však nedochází ke změnám vlivem velikosti šumu. Přenosová rychlost se při tomto šumu pohybuje v okolí 22800 kbit/s. Další pokles pozorujeme až při aplikaci -110 dB a - 100 dB, kde první činí 4000 kbit/s a druhý je již vyšší. Konkrétně 7000 kbit/s. Tedy při aplikaci nejvyšší úrovně šumu na účastnickém vedení měříme přenosovou rychlost v okolí 11500 kbit/s.

Na dalším obrázku 6.6 vidíme, k jakému ovlivnění dochází v případě 45440 kbit/s přípojky. Opět dochází ke schodovému poklesu přenosové rychlosti, tak jak jsme již viděli na předchozích grafech pro upstream. V tomto případě se jedná o 45440 kbit/s přípojku, která již na počátku měření vykazuje přenosovou rychlost okolo 25300 kbit/s. V rozmezí od -140 dB do - 130 dB dochází k poklesu 3000 kbit/s na jednotlivou změnu. Při velikosti šumu -120 dB dochází již k poklesu o 7000 kbit/s. Na konci měření s aplikací -100 dB bílého aditivního šumu již měříme přenosovou rychlost na úrovni 1540 kbit/s.



Obrázek 6.6: Závislost přenosové rychlosti 45440 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr upstream

Na obrázku 6.7 je vidět poslední charakteristika chování přenosové rychlosti 45440 kbit/s pro přenosový směr downstream. Tento graf můžeme porovnat s obrázkem 6.6. Vidíme, že vliv šumu zde není tak markantní jako v předchozím případě. Grafická závislost vykazuje při nulové hodnotě šumu přenosovou rychlost 36100 kbit/s. Už zde tedy spatřujeme rozdíl oproti předchozímu případu, kde jsme měli jako základní hodnotu 25300 kbit/s. Další odlišnosti jsou vidět v případě nasazení šumu o úrovních -140 dB a -130 dB, kde se v tomto případě pohybujeme okolo přenosové rychlosti 30000 kbit/s a v předchozím případě jsme se pohybovali v okolí 22000 kbit/s s dalším sestupným charakterem. Dále vidíme v grafu mírný nárůst, po kterém následuje prudký pokles. Ten je způsoben šumem o hodnotě -100 dB, při kterém spadne přenosová rychlost na 11500 kbit/s. Viz. Příloha D:



Obrázek 6.7: Závislost přenosové rychlosti 45440 kbit/s na úrovni bílého aditivního šumu pro přenosový směr downstream

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat a během laboratorních měření zjistit míru rušivých vlivů na přenosové parametry sestavené komunikace digitální účastnické smyčky, technologie VDSL, na kvalitu služby. Stěžejní částí práce se stal popis a ověření vlivu délky účastnického vedení na kvalitu služby. Jako první bylo nejprve potřeba zjistit nastavení přenosových rychlostí jednotlivých portů DSLAMu a tyto hodnoty zaznamenat jako referenční. V rámci zkoumání závislosti délky vedení docházelo k datovým přenosům pomocí programu c-kermit, při kterých byly přenášeny vždy 3 soubory o velikostech 1 Mbit, 10 Mbit a 100 Mbit. Při těchto přenosech byla měřena reálná přenosová rychlost. Ta byla vždy následně vztažena k referenčním hodnotám z DSLAMu a také k hodnotám zjištěným přímo na modemu. Při zpracování grafických závislostí byly vždy použity hodnoty změřené při přenosech 10 Mbit souboru. Ostatní změřené hodnoty sloužily k ověření správnosti zjištěných dat. Při podrobnějším zkoumání se zjistilo, že rozdíl v přenosových rychlostech při přenášení 10 Mbit souborů a 100 Mbit souborů je zanedbatelný. Změny nastávaly až v případě přenosu 1 Mbit souborů kde při přenosech upstream byla vysílací stanice schopna odeslat soubor rychleji, ale serverová stanice si jej stejně stáhla danou přenosovou rychlostí dle nastavení na DSLAMu. Stejně tomu bylo i v případě datových přenosů pro přenosový směr downstream, kde byl server schopen odeslat soubor s vyšší přenosovou rychlostí, než byla přenosová rychlost klienta pro stažení daného souboru. S tímto zjištěním, jsme se během měření setkávali, pouze při přenosech 1 Mbit souborů.

Během měření závislosti délky přenosového vedení se ukázalo, jaký markantní vliv má délka účastnického vedení na vyšší přenosové rychlosti systému VDSL. Bylo také zjištěno, že přenosová rychlost 480 kbit/s je zcela nezávislá na délce vedení a to v obou přenosových směrech. Ukázalo se, že větším poklesem přenosových rychlostí trpí přenosový směr upstream, oproti přenosovému směru downstream. To bylo způsobeno faktem, že přenosové pásmo upstream je ve frekvenčním spektru dle kmítotového plánu přenášeno výše a tedy je daleko náchylnější na jakékoliv změny délky vedení, či šumu. V rámci měření bylo také zjištěno, že technologie byla schopna fungovat i na vzdálenost cca 2580 m, i když se přenosové rychlosti mnohdy zastavily až na setinových hodnotách původních přenosových rychlostí. K poklesu přenosových rychlostí docházelo zejména v oblasti délky vedení, a to: od cca 580 m do cca 980 m, odkud již většina přípojek vykazovala pokles přenosových rychlostí.

V rámci zkoumání rušivých vlivů byla provedena série měření vlivu přeslechů. Konkrétně se jednalo o vliv přeslechu typu NEXT. Vlivem laboratorního vybavení učebny se však účinky tohoto vlivu během měření jednoznačně neprokázaly.

Během zkoumání vlivu šumu se ukázalo, jaký neblahý vliv má bílý aditivní šum na účastnickou smyčku. Projevy tohoto šumu jsou vidět na grafech závislosti přenosových rychlostí na úrovni bílého aditivního šumu. Zde je identifikováno, že při aplikaci bílého šumu o úrovni -140 dB až -130 dB nedochází ve většině případů téměř k žádnému poklesu přenosových rychlostí. Ten však nastává v zápětí a to při aplikaci bílého šumu o úrovni -120 dB, který již způsobuje značný pokles přenosových rychlostí. Největší úbytek přenosových rychlostí je však na úrovni šumu od -120 dB do -110 dB. Z grafických závislostí je zřejmé, že největší vliv má bílý aditivní šum na přenosový směr upstream, kde způsobuje největší poklesy přenosových rychlostí. V případě přenosového směru downstream sice také dochází k poklesu, ale ten není tak zásadní. Závěrem je potřeba říci, že tato měření byla prováděna na účastnickém vedení s délkou 500 m.

Při zhodnocení veškerých zjištěných výsledků měření se ukázalo, jak obrovský vliv na přenosovou rychlost má délka vedení a vliv bílého aditivního šumu. V praxi se potýkáme s kombinací jak délky vedení, tak přeslechů a bílého aditivního šumu. Během podrobných laboratorních měření se ukázalo, jak jsou jednotlivé přenosové rychlosti ovlivňovány délkou vedení. Také byly prokázány účinky šumu a projevy jednotlivých velikostí bílého aditivního šumu. V rámci řešené problematiky byl měřen i účinek přeslechů, který se však vlivem laboratorního vybavení neprokázal.

V reálném životě se však potýkáme se všemi výše popsánymi vlivy současně a to v menší či větší míře. Výsledná přenosová rychlost je tedy dána kombinací všech negativních vlivů působících na účastnickou smyčku. Do budoucna by bylo jistě přínosné proměřit všechny působící vlivy na účastnickou smyčku současně za použití VDSL analyzátoru a to na konkrétních frekvenčních kanálech ve spektru.

Závěrem bych chtěl ještě jednou poděkovat mému vedoucímu práce p. Ing. Přemyslu Merovi, Ph.D a panu Ing. Pavlu Nevludovi za cenné rady během měření a zpracování této diplomové práce.

Použitá literatura

- [1] GOLDEN, Philip, DEDIEU, Hervé, JACOBSEN, Krista S. Fundamentals Of DSL Technology. New York, Auerbach Publication, 2006. ISBN 0-8493-1913-7.
- [2] ŠÍMÁK, Boris a Jaroslav SVOBODA. Digitální účastnické přípojky xDSL. Díl 1, Metody přenosu, popis přípojek HDSL, SHDSL, ADSL, VDSL. Praha: Sdělovací technika, 2005. ISBN 80-86645-07-X.
- [3] VODRÁŽKA, Jiří a Boris ŠÍMÁK. Digitální účastnické přípojky xDSL. Díl 2, Přenosové prostředí, druhá generace ADSL a VDSL, měření na přípojkách. Prah: Sdělovací technika, 2008. ISBN 80-86645-16-9.
- [4] VODRÁŽKA, Jiří. Přenosové systémy v přístupové síti. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2006, 189 s. ISBN 80-010-3386-4.
- [5] MER, Přemysl a Marek DVORSKÝ. Přístupové systémy v telekomunikacích pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-3539-6.
- [6] Varianty přípojek VDSL2. Access server [online]. Dostupné z: <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006052401>
- [7] Digitální účastnická přípojka VDSL2. Publi.cz [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/233/02.html>
- [8] Jevy ovlivňující útlum symetrických kabelových vedení. Access server [online]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=jevy-ovlivnujici-utlum-symetrickych-kabelovych-vedeni&cisloclanku=2004120201>
- [9] HEFKA, Lukáš. Vliv rušení na digitální účastnickou smyčku. Ostrava, 2014. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Přemysl Mer, Ph.D.
- [10] VEJSADA, M. ADSL - 1. část [online]. České vysoké učení technické v Praze, FEL, 2004 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072903>

Seznam příloh

Příloha A:	Tabulka naměřených hodnot - referenční účastnická smyčka.....	I
Příloha B:	Tabulka naměřených hodnot - vliv přeslechů - porty 3-6	II
Příloha C:	Tabulka naměřených hodnot - vliv přeslechů - porty 7-10	IV
Příloha D:	Tabulka naměřených hodnot - vliv aditivního bílého šumu - porty 7-9	VI
Příloha E:	Tabulka naměřených hodnot - Závislost přenosové rychlosti na délce vedení ...	IX

Příloha A: *Tabulka naměřených hodnot - referenční účastnická smyčka*

port	1		3		4		5		6	
vzdálenost [m]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]
0	480	480	1952	1952	3968	3968	5728	7968	16352	16352
100	480	480	1952	1952	3968	3968	5728	7968	16352	16352
300	480	480	1952	1952	3968	3968	5728	7968	16352	16352
500	480	480	1952	1952	3968	3968	5728	7968	16352	16352
700	480	480	1952	1952	3968	3968	5728	7968	7936	16352
900	480	480	1952	1952	3264	3968	4064	7968	3808	16352
1100	480	480	672	1952	672	3968	672	7968	702	16352
1300	480	480	704	1952	736	3968	704	7968	736	16352
1500	480	480	736	1952	736	3968	704	7968	704	14624
1700	480	480	704	1952	736	3968	736	7968	704	11520
1900	480	480	704	1952	704	3968	704	7968	704	8096
2100	480	480	704	1952	704	3968	704	6144	704	6112
2300	480	480	704	1952	672	3968	704	4704	704	4672
2500	480	480	704	1952	704	3680	704	3648	704	3616

port	7		8		9		10		11	
vzdálenost [m]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]	Upstream [Kbps]	Downstream [Kbps]
0	23968	23968	31968	31968	35968	45408	35968	59968	35968	63968
100	23968	23968	31968	31968	35968	45408	35968	59968	35968	63968
300	23968	23968	31968	31968	35968	45408	35968	59968	35968	58560
500	23968	23968	21632	31968	26432	45408	21120	49600	24608	48192
700	640	23968	7648	31968	11360	33184	7328	32416	10496	31488
900	768	23968	3616	24416	5120	24832	3264	24448	4256	23776
1100	672	23680	672	23488	672	23840	672	23520	704	22944
1300	704	19200	704	19168	704	19360	704	19072	704	18656
1500	704	14752	704	14784	704	14880	704	14688	704	14432
1700	736	11584	704	11456	704	11616	704	11616	704	11424
1900	704	8192	704	8256	704	8288	704	8192	704	8096
2100	704	6176	672	6304	704	6336	704	6176	704	6112
2300	704	4704	672	4768	704	4768	704	4736	704	4704
2500	704	3680	704	3712	704	3744	704	3680	672	3680

Příloha B: *Tabulka naměřených hodnot - vliv přeslechů - porty 3-6*

soubor	10485760 bit	10M	konfigurace 1:1		
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
3	pc -> server upstream	server	220048	47,652	1719,125
		PC	222779	47,068	1740,461
	server -> pc downstream	server	215277	48,708	1681,852
		PC	211472	49,584	1652,125
Hodnoty modemu			upstream		1952
			downstream		1952
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
4	pc -> server upstream	server	444684	23,58	3474,094
		PC	449431	23,331	3511,18
	server -> pc downstream	server	429915	24,39	3358,711
		PC	422525	24,817	3300,977
Hodnoty modemu			upstream		3968
			downstream		3968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
5	pc -> server upstream	server	638807	16,415	4990,68
		PC	647343	16,198	5057,367
	server -> pc downstream	server	848123	12,363	6625,961
		PC	836442	12,536	6534,703
Hodnoty modemu			upstream		5728
			downstream		7968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
6	pc -> server upstream	server	1806361	5,805	14112,2
		PC	1838366	5,704	14362,23
	server -> pc downstream	server	1738954	6,03	13585,58
		PC	1706736	6,144	13333,88
Hodnoty modemu			upstream		16352
			downstream		16352
soubor	10485760 bit	10M	konfigurace 2:1		
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
3	pc1 -> server upstream	server	220053	47,651	1719,164
		PC	222840	47,055	1740,938
4	pc2 -> server upstream	server	444687	23,58	3474,117
		PC	450264	23,288	3517,688
3	server -> pc1 downstream	server	215432	48,673	1683,063
		PC	211477	49,583	1652,164
4	server -> pc2 downstream	server	427567	24,524	3340,367
		PC	422600	24,812	3301,563

soubor	10485760 bit	10M	konfigurace 3:1		
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
3	pc1 -> server upstream	server	220052	47,651	1719,156
		PC	222781	47,068	1740,477
4	pc2 -> server upstream	server	444721	23,578	3474,383
		PC	450264	23,288	3517,688
5	pc3 -> server upstream	server	638826	16,414	4990,828
		PC	646358	16,223	5049,672
3	server -> pc1 downstream	server	215355	48,69	1682,461
		PC	211476	49,584	1652,156
4	server -> pc2 downstream	server	429235	24,429	3353,398
		PC	422613	24,812	3301,664
5	server -> pc3 downstream	server	851458	12,315	6652,016
		PC	836508	12,535	6535,219

soubor	10485760 bit	10M	konfigurace 4:1		
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
3	pc1 -> server upstream	server	220049	47,652	1719,133
		PC	222785	47,067	1740,508
4	pc2 -> server upstream	server	444723	23,578	3474,398
		PC	4502269	23,288	35173,98
5	pc3 -> server upstream	server	638893	16,412	4991,352
		PC	646357	16,223	5049,664
6	pc4 -> server upstream	server	1806623	5,804	14114,24
		PC	1834867	5,715	14334,9
3	server -> pc1 downstream	server	214514	48,881	1675,891
		PC	211476	49,583	1652,156
4	server -> pc2 downstream	server	429377	24,421	3354,508
		PC	422595	24,813	3301,523
5	server -> pc3 downstream	server	852239	12,304	6658,117
		PC	836504	12,535	6535,188
6	server -> pc4 downstream	server	1729813	6,062	13514,16
		PC	1706938	6,143	13335,45

Příloha C: Tabulka naměřených hodnot - vliv přeslechů - porty 7-10

soubor	10485760 bit	10M	konfigurace 1:1		
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc -> server upstream	server	2398942	4,371	18741,73
		PC	2426828	4,321	18959,59
	server -> pc downstream	server	2544229	4,121	19876,79
		PC	2488110	4,214	19438,36
Hodnoty modemu			upstream		23968
			downstream		23968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
8	pc -> server upstream	server	3488295	3,006	27252,3
		PC	3535997	2,965	27624,98
	server -> pc downstream	server	3394505	3,089	26519,57
		PC	3298741	3,179	25771,41
Hodnoty modemu			upstream		31968
			downstream		31968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
9	pc -> server upstream	server	3940766	2,661	30787,23
		PC	4019548	2,609	31402,72
	server -> pc downstream	server	4762316	2,202	37205,59
		PC	4653425	2,253	36354,88
Hodnoty modemu			upstream		35968
			downstream		45408
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
10	pc -> server upstream	server	3952153	2,653	30876,2
		PC	4011091	2,614	31336,65
	server -> pc downstream	server	6115775	1,715	47779,49
		PC	5977496	1,754	46699,19
Hodnoty modemu			upstream		35968
			downstream		59968

soubor	10485760 bit	10M	konfigurace 2:1		
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc1 -> server upstream	server	2632290	3,984	20564,77
		PC	2675545	3,919	20902,7
8	pc2 -> server upstream	server	3488030	3,006	27250,23
		PC	3533262	2,968	27603,61
7	server -> pc1 downstream	server	2531673	4,142	19778,7
		PC	2488321	4,214	19440,01
8	server -> pc2 downstream	server	3368632	3,113	26317,44
		PC	3298786	3,179	25771,77

soubor	10485760 bit	10M	konfigurace 3:1		
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc1 -> server upstream	server	2632739	3,983	20568,27
		PC	2673789	3,922	20888,98
8	pc2 -> server upstream	server	3487357	3,007	27244,98
		PC	3533343	2,968	27604,24
9	pc3 -> server upstream	server	3938349	2,662	30768,35
		PC	4003362	2,619	31276,27
7	server -> pc1 downstream	server	2533369	4,139	19791,95
		PC	2488150	4,214	19438,67
8	server -> pc2 downstream	server	3376858	3,105	26381,7
		PC	3298164	3,179	25766,91
9	server -> pc3 downstream	server	4775801	2,196	37310,95
		PC	4656782	2,252	36381,11

soubor	10485760 bit	10M	konfigurace 4:1		
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc1 -> server upstream	server	2632526	3,983	20566,61
		PC	2672649	3,923	20880,07
8	pc2 -> server upstream	server	3489809	3,005	27264,13
		PC	3533855	2,967	27608,24
9	pc3 -> server upstream	server	3940835	2,661	30787,77
		PC	4018745	2,609	31396,45
10	pc4 -> server upstream	server	3951229	2,654	30868,98
		PC	4003306	2,619	31275,83
7	server -> pc1 downstream	server	2537241	4,133	19822,2
		PC	2487970	4,215	19437,27
8	server -> pc2 downstream	server	3392426	3,091	26503,33
		PC	3298812	3,179	25771,97
9	server -> pc3 downstream	server	4790522	2,189	37425,95
		PC	4656664	2,252	36380,19
10	server -> pc4 downstream	server	6080322	1,725	47502,52
		PC	5989402	1,751	46792,2

Příloha D: *Tabulka naměřených hodnot - vliv aditivního bílého šumu - porty 7-9*

500 m délky vedení		velikost šumu		0 dB	
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc -> server	server	2630351	3,986	20549,62
	upstream	PC	2672801	3,923	20881,26
	server -> pc	server	2573145	4,075	20102,7
	downstream	PC	2487071	4,216	19430,24
Hodnoty modemu			upstream		23968
			downstream		23968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
8	pc -> server	server	2714505	3,863	21207,07
	upstream	PC	2755833	3,805	21529,95
	server -> pc	server	3391196	3,092	26493,72
	downstream	PC	3286184	3,191	25673,31
Hodnoty modemu			upstream		24480
			downstream		31968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
9	pc -> server	server	3231872	3,244	25249
	upstream	PC	3273481	3,203	25574,07
	server -> pc	server	4728896	2,217	36944,5
	downstream	PC	4618030	2,271	36078,36
Hodnoty modemu			upstream		28640
			downstream		45408

500 m délky vedení		velikost šumu		-140 dB	
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc -> server	server	2398470	4,372	18738,05
	upstream	PC	2439221	4,299	19056,41
	server -> pc	server	2331288	4,498	18213,19
	downstream	PC	2291959	4,575	17905,93
Hodnoty modemu			upstream		23968
			downstream		23968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
8	pc -> server	server	2431562	4,312	18996,58
	upstream	PC	2457401	4,267	19198,45
	server -> pc	server	2922369	3,588	22831,01
	downstream	PC	2887949	3,631	22562,1
Hodnoty modemu			upstream		23968
			downstream		31968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
9	pc -> server	server	2895355	3,622	22619,96
	upstream	PC	2939725	3,567	22966,6
	server -> pc	server	3956987	2,65	30913,96
	downstream	PC	3922485	2,673	30644,41
Hodnoty modemu			upstream		28640
			downstream		45408

Tabulka naměřených hodnot - vliv aditivního bílého šumu - porty 7-9

500 m délky vedení		velikost šumu		-130 dB	
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc -> server	server	2632624	3,983	20567,38
	upstream	PC	2676438	3,918	20909,67
	server -> pc	server	2522997	4,156	19710,91
	downstream	PC	2487957	4,215	19437,16
Hodnoty modemu			upstream		23968
			downstream		23968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
8	pc -> server	server	2299588	4,56	17965,53
	upstream	PC	2334974	4,491	18241,98
	server -> pc	server	2897415	3,619	22636,05
	downstream	PC	2884587	3,635	22535,84
Hodnoty modemu			upstream		22752
			downstream		31968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
9	pc -> server	server	2619858	4,002	20467,64
	upstream	PC	2654866	3,95	20741,14
	server -> pc	server	3927642	2,67	30684,7
	downstream	PC	3846477	2,726	30050,6
Hodnoty modemu			upstream		25888
			downstream		45408

500 m délky vedení		velikost šumu		-120 dB	
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc -> server	server	1755237	5,974	13712,79
	upstream	PC	1781267	5,887	13916,15
	server -> pc	server	2156190	4,863	16845,23
	downstream	PC	2123869	4,937	16592,73
Hodnoty modemu			upstream		15872
			downstream		23968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
8	pc -> server	server	1619479	6,475	12652,18
	upstream	PC	1650434	6,353	12894,02
	server -> pc	server	2943483	3,562	22995,96
	downstream	PC	2879279	3,642	22494,37
Hodnoty modemu			upstream		15264
			downstream		31968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
9	pc -> server	server	1702047	6,161	13297,24
	upstream	PC	1728938	6,065	13507,33
	server -> pc	server	4239680	2,473	33122,5
	downstream	PC	4348231	2,412	33970,55
Hodnoty modemu			upstream		15904
			downstream		45408

Tabulka naměřených hodnot - vliv aditivního bílého šumu - porty 7-9

500 m délky vedení		velikost šumu		-110 dB	
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc -> server	server	54837	191,216	428,4141
	upstream	PC	55827	187,825	436,1484
	server -> pc	server	2065080	5,078	16133,44
	downstream	PC	2033301	5,157	15885,16
Hodnoty modemu			upstream		480
			downstream		23968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
8	pc -> server	server	630595	16,628	4926,523
	upstream	PC	641259	16,352	5009,836
	server -> pc	server	2555335	4,103	19963,55
	downstream	PC	2507745	4,181	19591,76
Hodnoty modemu			upstream		5664
			downstream		26592
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
9	pc -> server	server	755488	13,879	5902,25
	upstream	PC	774645	13,536	6051,914
	server -> pc	server	4532209	2,314	35407,88
	downstream	PC	4429705	2,367	34607,07
Hodnoty modemu			upstream		15904
			downstream		45360

500 m délky vedení		velikost šumu		-100 dB	
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
7	pc -> server	server	54638	191,91	426,8594
	upstream	PC	55991	187,273	437,4297
	server -> pc	server	2006091	6,078	15672,59
	downstream	PC	1983420	6,157	15495,47
Hodnoty modemu			upstream		480
			downstream		23968
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
8	pc -> server	server	200898	10,526	1569,516
	upstream	PC	224521	9,419	1754,07
	server -> pc	server	2391038	0,884	18679,98
	downstream	PC	1483548	1,425	11590,22
Hodnoty modemu			upstream		1792
			downstream		14784
VDSL port	směr přenosu	data	BR [cps]	čas přenosu [s]	BR [kbit/s]
9	pc -> server	server	197390	10,713	1542,109
	upstream	PC	220602	9,586	1723,453
	server -> pc	server	2370364	0,892	18518,47
	downstream	PC	1471976	1,437	11499,81
Hodnoty modemu			upstream		1760
			downstream		14464

Příloha E: *Tabulka naměřených hodnot - Závislost přenosové rychlosti na délce vedení*

Uvedena na CD v souboru: Priloha_E.xlsx

